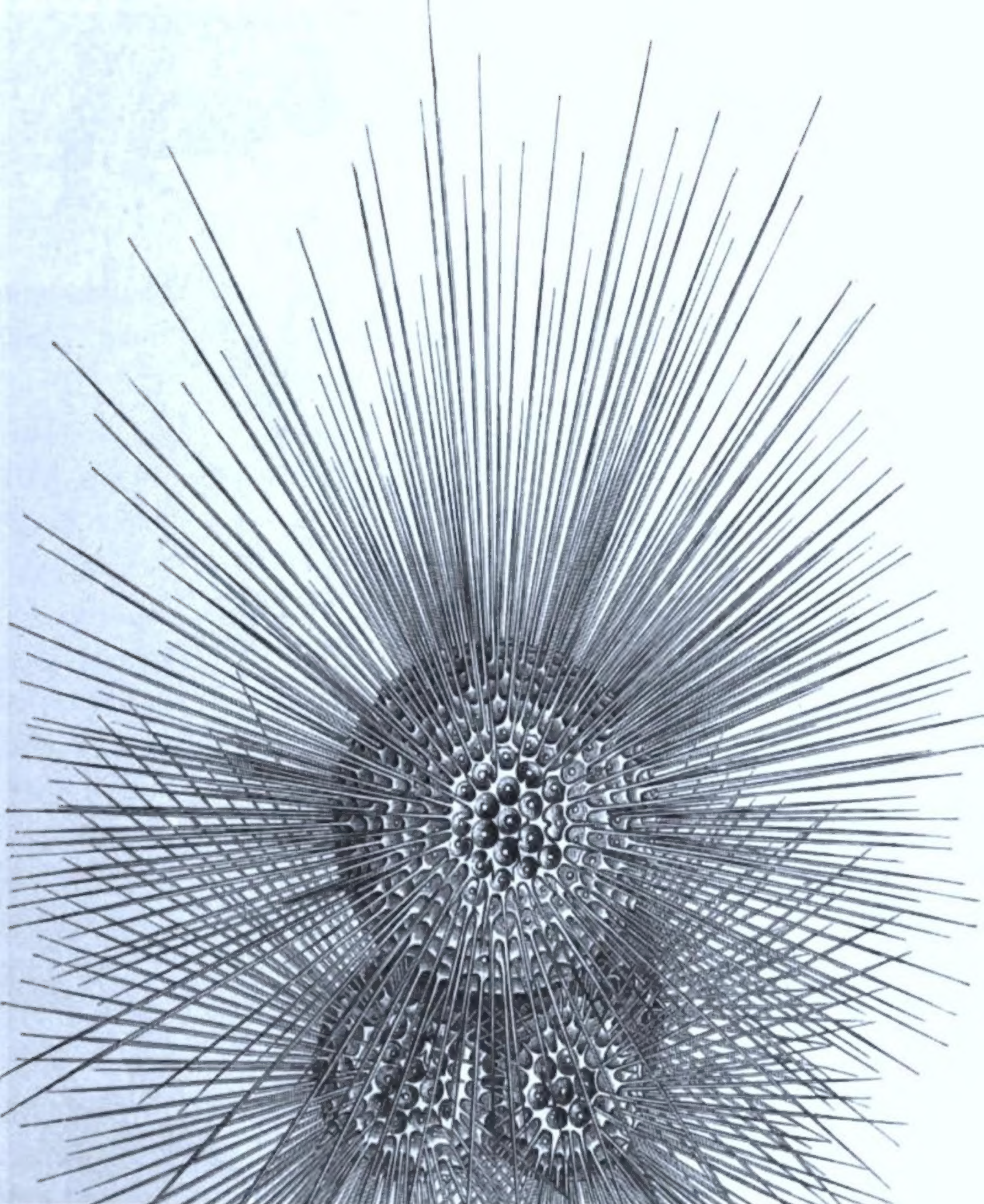


Erdgeschichte

Melchior Neumayr, Viktor Karl Uhlig, Viktor Uhlig

Erdgeschichte.

Erster Band.

Holzfreies Papier.

Erdgeschichte.

Von

Dr. Melchior Neumayr.

Erster Band.

Allgemeine Geologie.

Mit 334 Abbildungen im Text, 15 Aquarelltafeln und 2 Karten
von E. Heyn, O. Peters, K. Poschinger, E. v. Ransonnet, A. Swoboda u. a.

Leipzig.
Verlag des Bibliographischen Instituts.
1886.

Vorwort.

Bei dem Bestreben, das ungeheure Gebiet der Geologie in populärer Weise darzustellen, erwies es sich bald als unmöglich, alle einzelnen Teile in einer Vollständigkeit zu behandeln, wie sie etwa von einem Lehrbuche gefordert werden kann. Es ergab sich die Notwendigkeit, die wichtigern und für die allgemeine Übersicht bedeutendern Thatsachen und Anschauungen hervorzuheben und durch eingehende Darstellung dem Verständnisse nahezurücken und dafür weniger Hervorragendes zu übergehen. Diese Einschränkung, welche sich naturgemäß in der historischen Geologie am meisten geltend macht, war unerläßlich, sollte nicht das Ganze an Übersichtlichkeit verlieren.

Ich habe mich bestrebt, überall den neuesten Standpunkt der Wissenschaft darzustellen, und hoffe, daß dies bis zu einem gewissen Grade gelungen ist. Noch während des Druckes ist viel neue Litteratur erschienen, die nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Allein die meisten dieser neuen Erscheinungen sind nicht so tief einschneidender Natur, daß wesentliche Änderungen dadurch herbeigeführt worden wären.

Der Fachmann wird vermutlich das Fehlen von Citaten als Mangel empfinden, doch schien mir die Mitteilung des ganzen wissenschaftlichen Apparates für ein populäres Buch viel zu schwerfällig. Daß ich überall auf die Originalabhandlungen zurückgegriffen habe, wird jeder Kenner bemerken; ebenso wird es ihm nicht entgehen, daß auf die Darstellung der dynamischen Geologie und namentlich auf das fünfte Kapitel die neuern Werke von Sueß maßgebenden Einfluß geübt haben.

Wenn manche schwierige Fragen nicht mit jener erschöpfenden Gründlichkeit behandelt sind, welche dem selbständigen Forscher auf diesem Gebiete wünschenswert erscheinen muß, so mag zur Erklärung dienen, daß das Werk in erster Linie für ein großes Publikum geschrieben ist, welches dem Gegenstande Interesse, aber in der Regel keine weit reichenden Vorkenntnisse in den einzelnen Spezialfächern entgegenbringt. Diesem Leserkreise

mußte die Darstellung angepaßt und darum ein zu tiefes Eindringen in Kontroversen vermieden werden; immerhin wird auch der Geolog von Fach manchen neuen Gesichtspunkt oder manche konsequentere Durchführung gewisser Auffassungen finden, die bisher nur flüchtig angedeutet waren.

Für die Illustrationen des Werkes hatte ich mich der Mitarbeiterschaft ausgezeichneter Kräfte zu erfreuen; ich erlaube mir, den trefflichen Künstlern für ihre Leistungen den besten Dank auszusprechen. Für einige der Aquarellbilder haben die Publikationen des geologischen Aufnahmeamtes in Washington Vorlagen geliefert, für einige andre boten die geographischen Charakterbilder von Hölzel Motive; alle übrigen sind Originale.

Wien, Sommer 1886.

Melchior Neumayr.

Inhalts-Verzeichnis.

Allgemeine Geologie.

Einleitung.

I. Physikalische Geologie.

II. Dynamische Geologie.

III. Gesteinsbildung.

Illustrationen-Verzeichnis.

Aquarelltafeln und Karten.

Illustrationen im Text.

Allgemeine Geologie.

Einleitung: Geschichte und Grundbegriffe der Geologie.

Inhalt: Wesen und Inhalt der Geologie. — Geschichte der Geologie. — Einige Grundbegriffe der Geologie. — Lagerungsverhältnisse.

Wesen und Inhalt der Geologie.

Vor etwa hundert Jahren erlebte die Bergakademie zu Freiberg in Sachsen einen merkwürdigen Zudrang hervorragend begabter junger Männer. Aus allen zivilisierten Ländern kamen sie herbeigeströmt, um die Vorlesungen von Gottlob Abraham Werner über eine Wissenschaft zu hören, die bis dahin noch auf keinem Lehrstuhl selbständig behandelt worden war; er trug über die Gesteinsmassen vor, welche die Erdrinde zusammensetzen, über ihre Beschaffenheit, ihre Bildung, Lagerung und Aufeinanderfolge, über die Veränderungen, denen sie unterworfen sind, mit Einem Worte über Geognosie nach dem damals, Geologie nach dem heute allgemein verbreiteten Namen. Wohl hatten schon früher manche bedeutende Männer denselben Gegenständen ihr Augenmerk zugewendet, allein ihr Wirken blieb vereinzelt und wenig beachtet, wie ihren Anschauungen meist entweder die sichere Grundlage der Beobachtungen oder die Unterordnung der erkannten Thatsachen unter einheitliche Gesichtspunkte fehlte. Erst Werner, dem Vater der Geologie, sollte es gelingen, ein auf fester Unterlage ruhendes System zu begründen und eine Schule zu bilden, die seinen Namen und seine Lehre so weit verbreitete, als es Menschen gibt, die an der Entwickelung der Naturforschung Anteil nehmen.

Die neue Wissenschaft entwickelte sich in voller Abhängigkeit von der Bergbaukunde und der Mineralogie, sie schien im Anfange kaum mehr als ein Zweig dieser oder im günstigsten Falle eine einfache Hilfswissenschaft ohne selbständige Daseinsberechtigung zu sein, und es dauerte lange, bis diese Anschauung ganz überwunden, bis der Bann aller Vorurteile gebrochen war, welche der Würdigung der neuen Richtung entgegenstanden. Inzwischen entsprang aus der Geologie ein weiterer Forschungszweig, der in gleicher Weise lange Zeit hindurch nur eine untergeordnete Rolle spielte: die Lehre von den Pflanzen und Tieren, welche in der Vorzeit die Erde bewohnt haben, die Paläontologie, für deren Entwickelung Cuvier und Brongniart von derselben Bedeutung waren wie Werner für die der Geologie.

In der kurzen Zeit ihres Bestehens haben beide Wissenschaften einen ungemein raschen und glänzenden Aufschwung genommen und vermögen unter ihren Vertretern eine Reihe der bedeutendsten Forscher dieses Zeitraumes aufzuweisen. Fortwährend strömen neue Schätze an Thatsachen und Beobachtungen aus allen Teilen der Erde zu, so daß deren Verständnis und die Übersicht über sie kaum Schritt zu halten im stande sind.

Wie weit wir uns aber auch von den ersten Anfängen entfernt haben, und wie bedeutend der Aufschwung auch ist, so hat dies doch an einem Verhältnisse nichts geändert,

an dem außerordentlich engen Zusammenhange zwischen **Geologie und Paläontologie**, der so weit geht, daß in der Mehrzahl der Fälle eine und dieselbe Person beide Gebiete oder wenigstens Teile beider zu umfassen sucht. Es mag das auffallend erscheinen; die Geologie behandelt die Gesteinsmassen der Erde, also unorganische Gebilde, die Paläontologie beschäftigt sich mit der Tier- und Pflanzenwelt der Vorzeit, mit Organismen, Lebewesen, sie reiht sich demnach den biologischen Wissenschaften, zunächst der Zoologie und Botanik, an. Wenn trotzdem die Verbindung zwischen Geologie und Paläontologie eine überaus innige ist, so kann dies nicht durch äußerliche Umstände bedingt sein, sondern muß seinen Grund im innern Wesen beider Wissenszweige haben. In der That verbindet beide ein gemeinsamer Zug und stellt sie allen andern beschreibenden Naturwissenschaften gegenüber: die Geologie schildert uns nicht nur Beschaffenheit und Lagerung der Massen, sondern auch ihre Entstehung, ihre Aufeinanderfolge und die Veränderungen, denen sie unterworfen waren und noch sind, und in derselben Weise lehrt uns die Paläontologie nicht nur die Form und den Bau einer untergegangenen Lebewelt kennen, sondern sie zeigt uns auch, wie in langen Zeiträumen nacheinander zahlreiche verschiedene Faunen und Floren auf der Erdoberfläche gelebt haben, und in welchem Zusammenhange dieselben untereinander und mit der jetzigen Schöpfung stehen. Mit Einem Worte, wir sehen in ihnen die beiden historischen Wissenschaften, welche bestimmt sind, die „**Erdgeschichte**" zu schreiben, und in diesem gemeinsamen hohen Ziele liegt sowohl der Grund für die innige Zusammengehörigkeit beider als auch ihre außerordentliche Bedeutung für die gesamte Entwickelung der Wissenschaft. Es ist der bezeichnende Grundzug der neuern Richtung der Naturgeschichte, daß sie nicht mehr die reine Beschreibung als Hauptaufgabe betrachtet, sondern die Entstehung der Naturkörper als wichtigern Gegenstand der Untersuchung neben jene gesetzt hat. Sie forscht nicht nur, wie die Dinge sind, sondern wie sie geworden sind, und bei dieser genetischen Richtung, diesem Drange zu historischer Auffassung, der überall herrschend geworden ist, ergibt sich von selbst, wie tief und maßgebend Geologie und Paläontologie in alle wichtigsten Fragen eingreifen müssen, und daß die erstere ihre Aufgabe nur durch die Unterstützung der letztern vollständig zu lösen vermag.

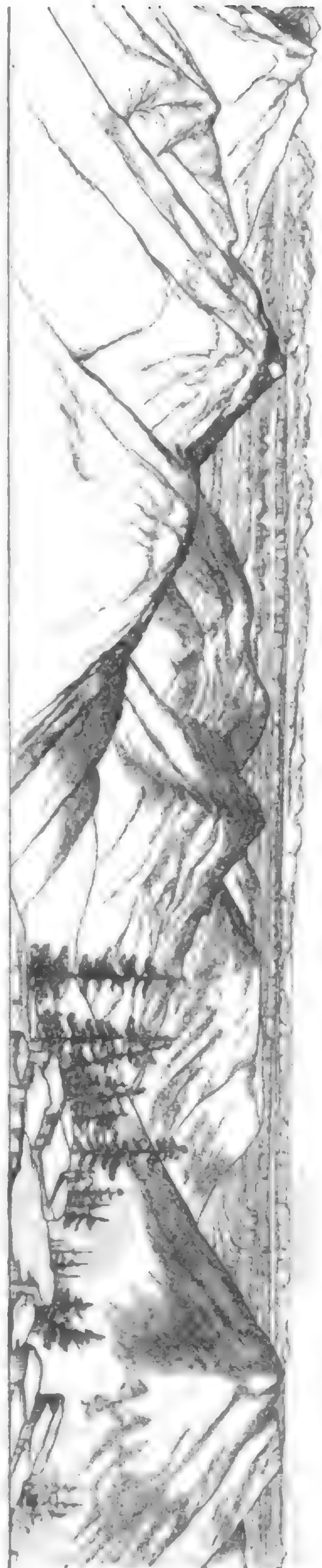
Keine gewaltigern Erscheinungen, keine großartigern Gegenstände der Forschung, keine bedeutendern Probleme bietet unsre Erde, als diejenigen sind, welche den Geologen beschäftigen. In erster Linie tritt an ihn die Frage nach den ersten Uranfängen heran, nach der **Entstehung unsers Planeten**, nach den Vorgängen, welchen dieser seine selbständige Existenz innerhalb des Sonnensystemes verdankt. Allerdings ist hier die rein geologische Methode nicht ausreichend, um eine befriedigende Antwort zu geben; wir müssen uns wesentlich auf die Aufschlüsse stützen, die uns von andrer Seite, namentlich durch die Resultate der Astronomie, gegeben werden.

Das eigenste Gebiet der Geologie betreten wir mit der Betrachtung der **Entstehung und Lagerung der Gesteine**, d. h. der festen Massen, welche an dem Aufbaue der Erde im großen Anteil nehmen. In erster Linie finden wir unter den Gesteinen zwei Haupttypen, die das Auge in der Natur bei einiger Übung sehr rasch unterscheiden lernt: einerseits solche Bildungen, die bald mehr, bald weniger deutlich durch parallele Klüfte oder Fugen in Schichten oder Bänke gesondert sind, es sind die **Flöz-, Sediment- oder Absatzgesteine**; anderseits jene Vorkommnisse, welche keine derartige Absonderung in Lager aufzuweisen haben und daher als **massige Gesteine** bezeichnet werden. Sehr klar tritt der Kontrast zwischen beiden Formen in der auf S. 3 stehenden Landschaftsskizze hervor, welche die Aussicht vom Pic Abajo im Territorium Colorado der Vereinigten Staaten darstellt; die gerundeten Kuppen des massigen Trachytes heben sich scharf gegen die Tafellandschaft der geschichteten Gesteine ab, und auf den ersten Blick erkennt man, daß hier

zwei grundverschiedene Elemente zum Aufbaue der Landschaft beigetragen haben.

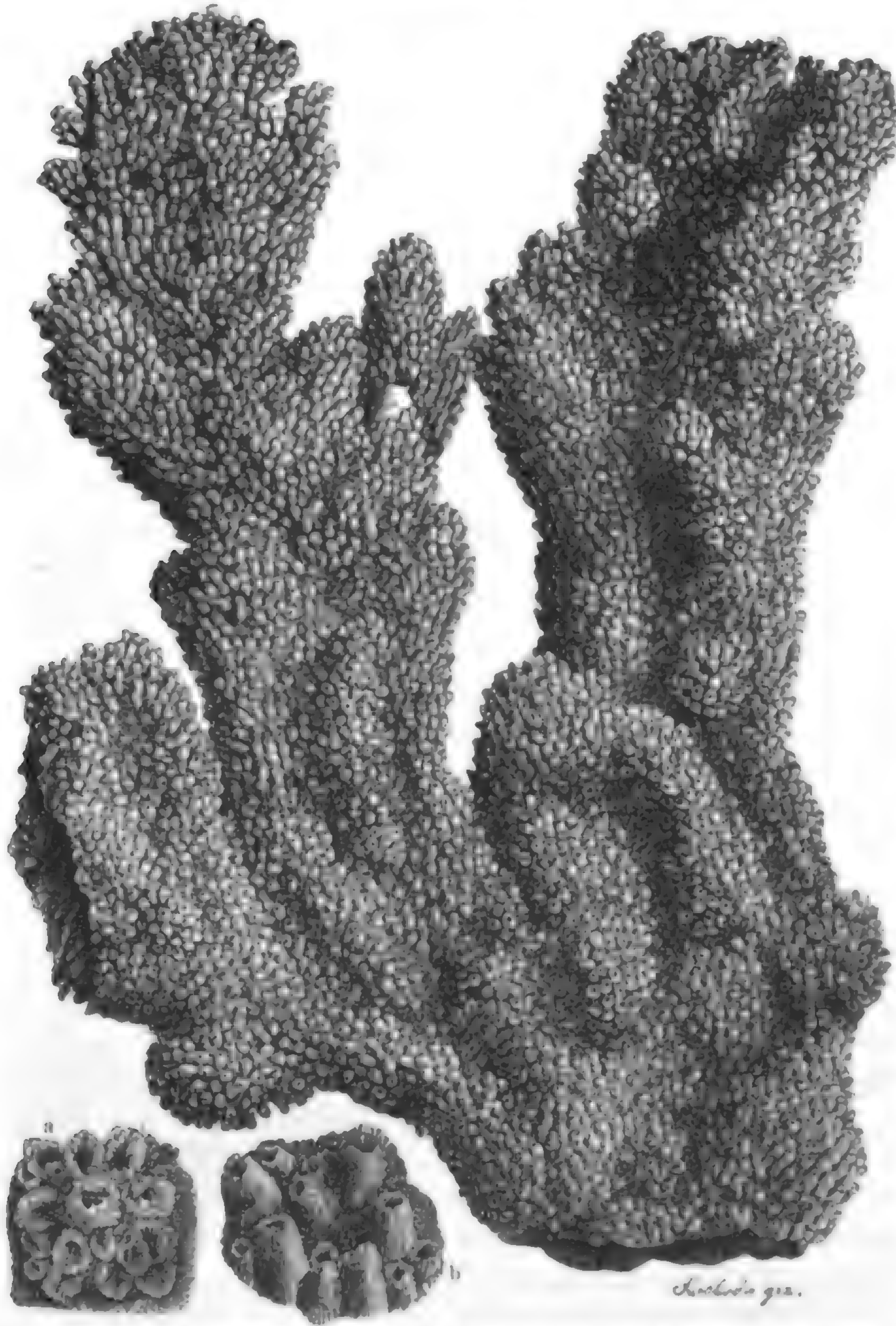
Wie die äußere Form und Anordnung, so ist auch die Entstehung der geschichteten Gesteine eine ganz andre als die der massigen. Die Bildung der erstern sehen wir unter unsern Augen vor sich gehen, wenn wir beobachten, wie das Wasser Gerölle, Sand, Schlamm, Teile von Organismen an seinem Boden absetzt oder in beschränkterm Maße gewisse Bestandteile, wie Gips, Steinsalz 2c., aus chemischer Lösung ausscheidet. Wo immer Wasser an der Erdoberfläche vorhanden ist, vor allem im Meere, gehen diese Prozesse vor sich; in der Nähe der Küste sehen wir besonders die Thone, Mergel, Sandsteine durch die Anhäufung von Schlamm und Sand sich bilden. Wo Schalen von Muscheln oder winzigen Foraminiferen zur Ablagerung kommen oder die Korallentierchen ihre gewaltigen Bauten aufführen (vgl. Abbildung, S. 4), da geht Kalksteinbildung vor sich, und man ist zu der Behauptung berechtigt, daß alle die größten und ausgebreitetsten Kalkbildungen, die wir in unsern Gebirgen sehen, lediglich der Thätigkeit von Organismen ihre Entstehung verdanken. Ja, gerade die kleinsten unter diesen sind es, welche die größten Wirkungen hervorbringen: die winzigen Schälchen der Foraminiferen, vor allen der Globigerinen (vgl. Abbildung, S. 5), bedecken in unzähligen Mengen den Boden eines großen Teiles des offenen Ozeanes, und daß in der Vorzeit dasselbe geschehen ist, bezeugt uns die mikroskopische Untersuchung vieler Kalksteine.

War es das Wasser, das wir bei der Entstehung der Sedimente an der Arbeit sahen, so ist es die Erstarrung aus geschmolzenem, heißem Zustande, welche die Massengesteine liefert. Für die Bildung der Granite, Porphyre, Trachyte, Basalte und der zahlreichen verwandten Felsarten finden wir in der Jetztzeit den einzigen analogen Vorgang in der Thätigkeit der Feuerberge, welche aus dem heißen Innern der Erde geschmolzene Massen an die Oberfläche bringen und deren Form uns in Europa der Ätna in großartigster Weise zur Anschauung bringt (vgl. Abbildung, S. 6). Die Form ihres Auftretens wie die Zusammensetzung der vulkanischen Produkte geben uns den Schlüssel zum Verständnisse für den Ursprung jener Felsarten, welche in frühern Perioden der Erdgeschichte durch dieselbe Thätigkeit, wenn auch teilweise unter wesentlich andern Bedingungen, als sie jetzt unmittelbar an der Oberfläche vorhanden sind, gebildet wurden. Bald sind es alte Lavaergüsse, bald die Ausfüllungen von Spalten, bald Massenausbrüche der Tiefe, denen wir im alten Gebirge begegnen.



Aussicht vom Pic Abajo in Colorado (nach Hayden).

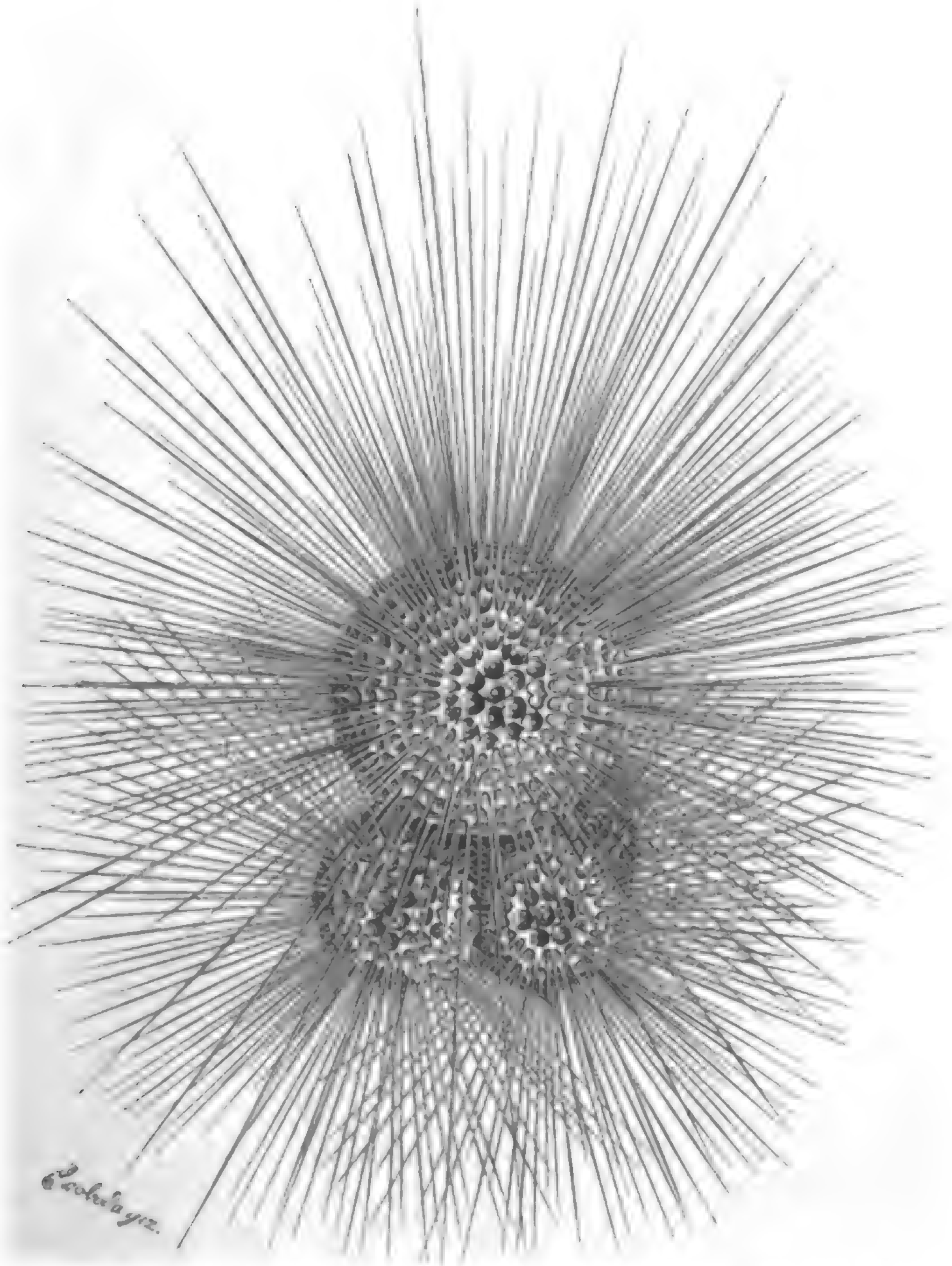
Neben diesen beiden Typen tritt uns noch ein dritter entgegen, der zwischen ihnen in gewissem Sinne eine Mittelstellung einnimmt: es sind das die **kristallinischen Schiefergesteine**: Gneiß, Glimmerschiefer und ihre Verwandten, die sich in dem Vorhandensein von Schichtung an die Sedimente, in ihrer Zusammensetzung an die Massengesteine anschließen, und deren Bildungsgeschichte zu den schwierigsten und bestrittensten Problemen der Geologie zählt.



Riffkoralle, Madropora palmata (nach Agassiz). Natürliche Größe; a und b etwas vergrößerte Kelche. Vgl. Text, S. 3.

Diese verschiedenen Arten von Gesteinen sind es, welche an dem Aufbaue der Erdrinde teilnehmen; allein wenn wir ihr Vorkommen ins Auge fassen, so wird es sofort klar, daß sie sich zum großen Teile nicht mehr in jener Lage befinden, die sie ursprünglich einnahmen, sondern daß in dieser Richtung die gewaltigsten Veränderungen vor sich gegangen sind. Aufs deutlichste tritt dies bei den Absatzgesteinen hervor, welche sich der ungeheuer überwiegenden Mehrzahl nach, entsprechend der vorherrschenden Form des Bodens im Meere und in allen größern Seen, ursprünglich in vollständig oder nahezu wagerechten Bänken abgelagert haben. Nun ist es aber eine bekannte Thatsache, daß über weite Strecken der Erdoberfläche hin die Schichten sich nicht mehr in dieser ursprünglichen Lage befinden, sondern unter einem größern oder kleinern Winkel geneigt (vgl. Abbildung, S. 9), ja senkrecht aufgestellt oder in der mannigfaltigsten Weise geknickt und gebogen sind (vgl. Abbildung, S. 7). Es müssen also hier spätere **Massenbewegungen** stattgefunden haben, durch welche die Störung und Aufrichtung der Ablagerung hervorgebracht wurde, und die man jetzt in der Regel als die Folgen der Zusammenziehung der Erde bei ihrer Abkühlung betrachtet.

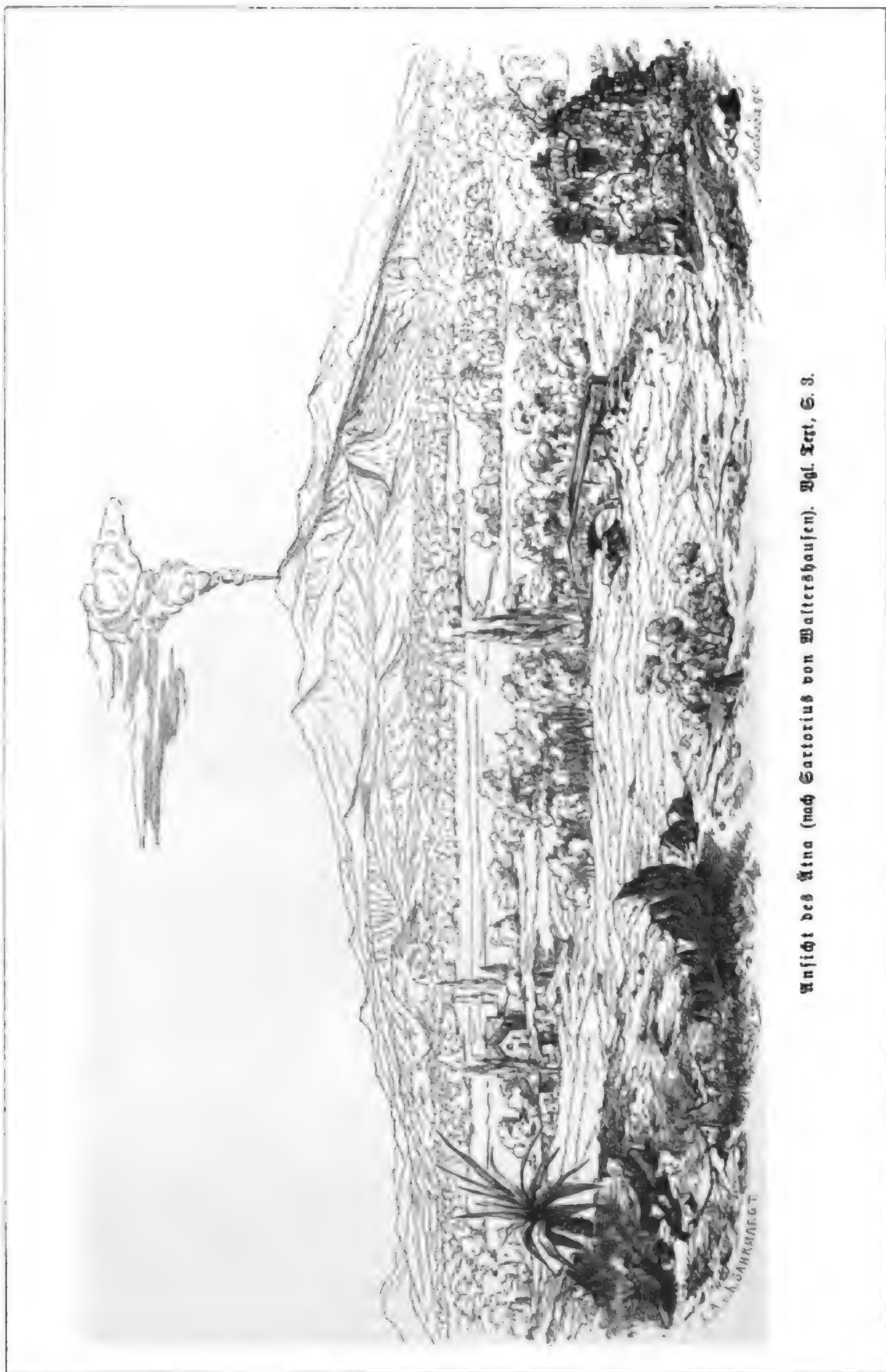
Solche Störungen im normalen Schichtenbaue treten in der Regel nicht vereinzelt an einem Punkte oder auf einer kleinen Strecke auf, sondern man findet, daß die „gebirgsbildenden Kräfte“ sich der Hauptsache nach gleichartig über weite Landstrecken geltend gemacht und so die Entstehung von Gebirgssystemen einheitlichen Baues veranlaßt



Lebende Globigerine, in sehr starker Vergrößerung (nach Thomson). Vgl. Text, S. 3.

haben, in denen sich, abgesehen von lokalen Nebenerscheinungen, übereinstimmende Anordnung der den Aufbau beherrschenden, der „tektonischen“ Linien verfolgen läßt.

Es ergibt sich dabei ein Unterschied zwischen zweierlei wenigstens in ihren Extremen sehr weit voneinander abweichenden Arten von Gebirgen, den Kettengebirgen und den Massengebirgen. Die erstern, zu welchen Alpen, Karpathen, Apenninen, Pyrenäen, Kaukasus, Himalaya, die Anden gehören, lassen schon in ihrer äußern Erscheinung die lineare Gruppierung deutlich hervortreten: die Längserstreckung überwiegt die Breite, und im



Ansicht des Ätna (nach Sartorius von Waltershausen). Vgl. Text, S. 3.

einzelnen ordnen sich die Höhen zu langgestreckten Ketten an, in der Regel mit scharf hervortretenden Kämmen (vgl. Abbildung, S. 8). Alle deutlich ausgesprochenen Glieder dieser Gruppe scheinen geologisch jung zu sein, d. h. die Aufrichtungsbewegung in denselben reicht bis in verhältnismäßig späte Perioden der Erdgeschichte hinein, und dies ist auch der Grund, warum wir hier gerade die bedeutendste Gipfelentwickelung finden, indem die zerstörenden Kräfte noch nicht Zeit gefunden haben, diese luftigen Zinnen wieder abzutragen.

Im Gegensatze dazu zeigen die Massengebirge, wie der Böhmerwald, der Schwarzwald, die Vogesen rc., weder durch deutlich ausgesprochene Längserstreckung noch durch scharf hervortretende Ketten in klarer Weise äußerlich eine lineare Anordnung, wenn dieselbe auch in der Lagerung der Schichten, also in der innern Gruppierung der Gesteine, in der Regel deutlich ausgesprochen ist. Niedrigere Gipfel mit meist abgerundeten, sanften

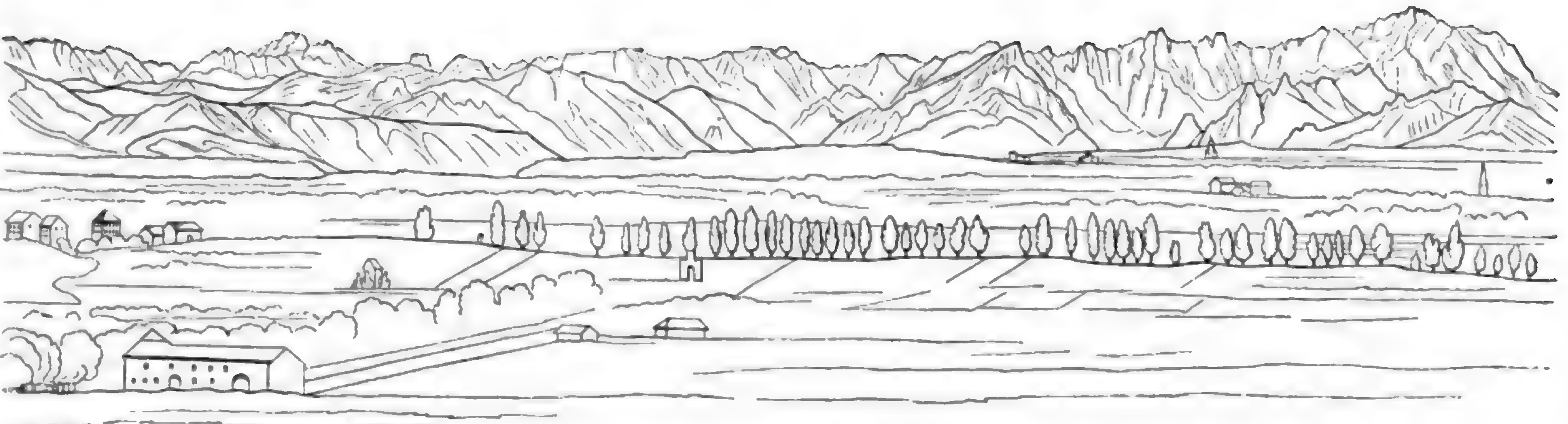


Geknickte Kalkschichten (nach Green). Vgl. Text, S. 4.

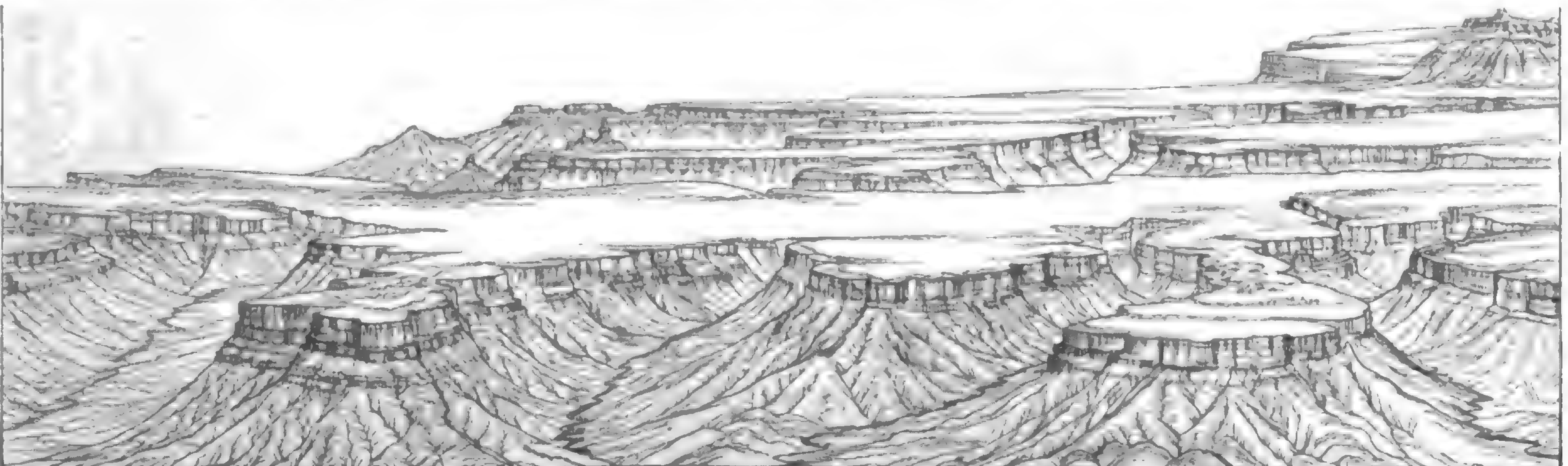
Formen gesellen sich zu diesen Charakteren, mit denen hohes geologisches Alter Hand in Hand geht, denn lange geologische Zeiträume sind verflossen, seitdem die Aufrichtung erfolgte; wir sehen in ihnen nur noch die Überbleibsel, die Ruinen ehemaliger bedeutenderer Entwickelung.

Als eine andre Äußerung derselben Kräfte, welche die Aufrichtung der Gebirge bewirken, finden wir die Bildung von Spalten, welche in die Tiefe reichen, die sogenannten Verwerfungen oder Bruchlinien, an welchen eine Verschiebung der zu beiden Seiten vorhandenen Massen stattfindet. Bald ist die Ausdehnung der Spalten und der Betrag der an ihnen stattfindenden Bewegungen sehr gering, bald lassen sich gewaltige Brüche über weite Strecken verfolgen und sind große Schollen der Erdrinde an denselben in die Tiefe gesunken und ist das Meer an ihre Stelle getreten; so ist es z. B. wahrscheinlich, daß das ganze Rote Meer die Stelle eines solchen Senkungsfeldes einnimmt.

Als Gefolgeerscheinungen dieser Vorgänge, sowohl der Aufrichtung der Gebirge als der Senkungen an Bruchlinien, finden wir die Erdbeben und Vulkane, welche sich in ihrem Auftreten an die großen tektonischen Linien aufs innigste anschließen. Aus den Vulkanen tritt geschmolzenes Gestein, die Lava, ferner fein zerstäubtes Material, die sogenannte Asche, an die Oberfläche, und durch die Anhäufung dieser Ausbruchstoffe türmen sich kegelförmige Berge empor, oft von gewaltiger Höhe, die aber trotzdem ihre hervorragende Gestalt keiner Aufrichtung oder Hebung, sondern lediglich der Aufschüttung verdanken. Wohl



Karwändel- und Wettersteingebirge, als Typus eines Kettengebirges, von München aus gesehen (nach v. Bezold). Vgl. Text, S. 7.

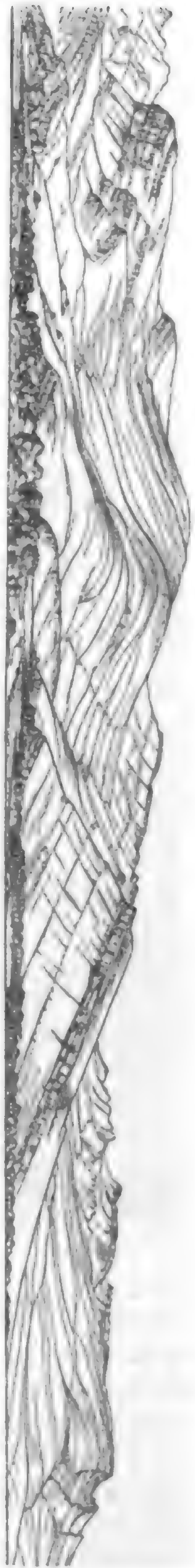


Südwestrand von Mesa Verde in Colorado (nach Holmes). Vgl. Text, S. 10.


Gruppe von Vulkankuppen, vom Puy de la Rodde in der Auvergne gesehen (nach Scrope).

können durch das gesellige Auftreten von Vulkanen auch Berggruppen, die sogenannten Kuppengebirge, entstehen (vgl. die Abbildung links), doch sind diese ihrem ganzen Wesen und Ursprunge nach von den durch Aufrichtung und Faltung der Erdrinde gebildeten Massen und Kettengebirgen vollständig verschieden.

So gewaltige Erscheinungen aber auch die Aufrichtung eines großen Kettengebirges, das Absinken einer Scholle der Erdrinde an einer Bruchlinie sein mögen, so müssen doch selbst diese Vorgänge ihrer Bedeutung nach in die zweite Linie zurücktreten, wenn wir sie vergleichen mit den großen Hauptzügen der Oberflächengestaltung unsrer Erde, mit den großen **Festlandsmassen** und **Meeresbecken**, deren Entstehung noch heute sehr schwierig zu erklären ist. Es stehen sich hier zwei große Richtungen unter den Geologen gegenüber, von denen die eine annimmt, daß die Verteilung von Festländern und Meeren in der geologischen Geschichte den größten und weitgehendsten Veränderungen unterworfen gewesen sei, während die andre der Ansicht ist, daß trotz aller Umgestaltungen im einzelnen doch die großen Hauptzüge in der Verteilung von Festem und Flüssigem seit uralten Zeiten eine gewisse Beständigkeit zeigen, — eine Auffassung, welche namentlich in neuerer Zeit und, wie es scheint, mit Recht sehr an Boden gewonnen hat. Mit diesen Problemen steht die Frage in Zusammenhang, ob ganze **Kontinente** langsamen vertikalen Hebungen und Senkungen unterworfen sind, oder ob die Erscheinungen, aus welchen man auf diese Vorgänge geschlossen hat, z. B. das Auftreten alter Strandlinien hoch über dem jetzigen Meeresniveau, lediglich Veränderungen im Stande und in der Verteilung des Wassers zugeschrieben werden müssen.


Hügelgruppen, aus mäßig aufgerichteten Schichten aufgebaut, von Brains Creek in Colorado gesehen (nach Hayden). Vgl. Text, S. 4.

Ein ganz andres Gebiet der geologischen Vorgänge betreten wir, wenn wir die **Wirksamkeit des Wassers** auf der Erdoberfläche ins Auge fassen. In erster Linie ist hier seine Thätigkeit eine zerstörende; unterstützt vom Temperaturwechsel und namentlich vom Froste, arbeitet es unablässig an

der mechanischen Zerkleinerung und Zerstörung der Felsmassen. Durch seine eigne auflösende Kraft, noch mehr aber mit Hilfe der Kohlensäure, welche es absorbiert enthält, wirkt es chemisch auf die Gesteine und bewirkt deren Verwitterung; jeder Regentropfen, der auf festes Land fällt, ist hier thätig, jede unterirdisch sickernde Wasserader, jeder Bach und Strom so gut, ja sogar in ihrer Gesamtheit noch weit intensiver als die Brandung, welche donnernd an die Küsten schlägt und deren Steilwände unterwäscht und zerstört. Diese „Erosion“ (Ausnagung) oder „Denudation“ (Entblößung) ist eine der wichtigsten und bedeutsamsten



Chinesische Lößlandschaft mit Terrassen (nach F. v. Richthofen). Vgl. Text, S. 11.

geologischen Triebkräfte; kein Gestein, so hart es sei, widersteht ihr, kein Gebirge vermag ihr zu trotzen, und der Umstand, daß alle höchsten Berge der Erde noch in geologisch junger Zeit aufgerichtet oder aufgeschüttet erscheinen, rührt lediglich daher, daß die Hochgipfel aus frühern Perioden schon längst wieder abgetragen sind.

In erster Linie tiefen sich die Wasser ihre Läufe und Rinnsale im Gesteine aus, wie es die Abbildung eines Gebietes in Colorado übersichtlich darstellt (vgl. S. 8), und schneiden dabei bald nur wenig ein, bald bilden sie Schluchten von furchtbarer Tiefe, z. B. jene berühmten „Cañons“ im Flußsysteme des Rio Colorado, wo der Strom sich sein Bett stellenweise bis zu 6000 Fuß Tiefe in die härtesten Gesteine eingegraben hat (vgl. die Tafel „Der Grand Cañon des Rio Colorado“ bei S. 449). Eine besonders wichtige Erscheinung stellen

bei der Ausbildung solcher Einschnitte die Terrassen dar, welche deren Ränder begleiten und einzelne Perioden in dem Verlaufe dieses Prozesses bezeichnen oder durch die Einschaltung widerstandskräftiger Gesteinspartien bedingt sind, eine Erscheinung, die wohl nirgends auf der Welt in schärferer Ausprägung hervortritt als in den weiten Lößlandschaften Chinas (vgl. Abbildung, S. 10).

Allein die Erosion beschränkt sich nicht darauf, Thäler auszufurchen, sie zerstört ganze Schichtensysteme vollständig oder läßt aus einem solchen nur einen einzelnen Pfeiler, eine durch besondere Widerstandskraft ausgezeichnete Partie stehen. In kleinem Maßstabe tritt dies in der Sächsischen und Böhmischen Schweiz in den allbekannten und vielbewunderten Felsbildungen hervor (vgl. unten), allein dasselbe wiederholt sich auch in den großartigsten



Der Prebischkegel in der Sächsischen Schweiz (nach einer Photographie).

Dimensionen, und in den Alpen stellt z. B. der Bergkoloß der drei Zinnen bei Schluderbach (Tirol) in seinen drei phantastisch-kühnen Pyramiden einfach drei stehen gebliebene Stücke eines ehemals über die ganze Gegend hin zusammenhängend ausgebreiteten Schichtsystemes dar (vgl. Abbildung, S. 13). Mögen überhaupt die allergrößten Hauptzüge der Oberflächengestaltung unsrer Erde durch die Gebirgsbildung gegeben sein, alle Einzelheiten sind jedenfalls im weitestgehenden Maßstabe das Werk der Denudation, die in wenigen Jahrmillionen alle Kontinente bis zum Meeresspiegel abtragen würde, wenn nicht auf der andern Seite wieder Ersatz für den Verlust zu Tage träte.

Nicht nur das fließende Wasser, auch das Eis ist bei dem Werke der Zerstörung geschäftig; die Gletscher, welche aus den Hochregionen der bedeutendern Gebirge zu Thal gleiten, sowie die Inlandeismassen der polaren Gegenden nutzen das Gestein ihrer Unterlage

ab, tragen Felsblöcke in die Tiefe und lagern sie in den sogenannten Moränen ab. Noch sind allerdings die Meinungen sehr geteilt bezüglich der Rolle, welche der Wirkung des Eises in der Geschichte der Erde zuzuschreiben ist; aber jedenfalls gehört dasselbe zu den interessantesten Faktoren der geologischen Veränderungen.

Die geschichteten Gesteine haben sich unter Wasser abgelagert und dabei die Reste von Tieren und Pflanzen umhüllt, die in diesem gelebt haben oder in dasselbe eingeschwemmt worden sind. Soweit diese Körper überhaupt einer Erhaltung fähig waren, finden wir sie nun als Fossilien oder Versteinerungen wieder, und sie bilden den Gegenstand des paläontologischen Studiums. Ihre Deutung bietet in vieler Beziehung große Schwierigkeiten, namentlich deswegen, weil alle zartern Teile, vornehmlich die Weichteile der Tiere, fast immer spurlos verschwunden sind. Immerhin gelingt es, zu zeigen, daß eine ungeheure Menge ausgestorbener Formen, teils den jetzt lebenden nahe verwandt, teils von ganz eigentümlichem Gepräge, in der Vorzeit die Erde bewohnt haben, und der Vergleich mit den verwandten Typen der heutigen Schöpfung läßt die Bedeutung wenigstens der Mehrzahl unter ihnen mit genügender Sicherheit erkennen. Indem wir nun die Aufeinanderfolge der abgelagerten Sedimente und der Fossilarten in denselben studieren und die Vorkommnisse verschiedener Gegenden miteinander vergleichen, finden wir, daß in dieser Beziehung strenge Gesetzmäßigkeit herrscht. So gelingt es, einzelne größere und kleinere Abschnitte der Erdgeschichte zu unterscheiden und ein vollständiges chronologisches System aufzustellen, dessen Ermittelung die Aufgabe der historischen Geologie ist.

Handelte es sich in den bisher geschilderten Arten der Untersuchung um die Gesetze, nach welchen der Aufbau der Erdrinde erfolgt, die Vorgänge hierbei und die Materialien dazu, so ist es die Aufgabe eines andern Zweiges unsrer Wissenschaft, der topographischen Geologie, die Zusammensetzung der einzelnen Gebiete zu untersuchen und eine Übersicht der Zusammensetzung der einzelnen Ländergruppen und Gebirge herzustellen. Wohl ist vieles in dieser Richtung geschehen, aber es sind doch verhältnismäßig nicht sehr große Teile der trocknen Erdoberfläche, über deren Bau wir genaue Rechenschaft zu geben vermögen, während die größten Räume noch gar nicht oder nur in den flüchtigsten Zügen bekannt sind.

Wir haben nun die wichtigsten Gegenstände geologischer Forschung kennen gelernt, soweit sie sich auf rein theoretischem Gebiete hält; allein eine großartige Erweiterung erfahren ihre Aufgaben durch die Menge der wichtigsten Beziehungen zum praktischen Leben. In erster Linie stellt die Lehre von den Lagerstätten nutzbarer Mineralstoffe, seien es Kohlen, Petroleum, Erze der verschiedensten Art, Schwefel, Gips, Phosphorit oder Bausteine, Zementmergel, Kalk und Sand, einen Teil der Geologie dar, und kein Bergmann kann ohne deren genaue Kenntnis in seinem Fache etwas leisten; ja, es sollte rationellerweise keine größere technische Anlage in irgend einer der genannten Richtungen unternommen werden, ohne daß das besondere Urteil eines Geologen über den mutmaßlichen Wert der auszubeutenden Lagerstätte eingeholt worden wäre. Für den Ingenieur, welcher Eisenbahn- oder Kanalbauten unternimmt, ist die geologische Kenntnis des Terrains, das er durchschneiden soll, unerläßlich; selbst bei der Bestimmung der Bahntracen wird in vielen Fällen die geologische Beschaffenheit des Gebietes von ausschlaggebender Bedeutung sein. Für alle Quellen- und Wasserversorgungsfragen kann nur die Geologie eine zweckmäßige Unterlage der Entscheidung liefern, und dem Landwirte gibt sie die unentbehrlichen Elemente für die Bodenkunde an die Hand.

So sehen wir die Geologie, und mit ihr, wiewohl in zweiter Linie, die Paläontologie, in zahllose Verhältnisse des praktischen Lebens eingreifen, und diesem Umstande verdanken beide Wissensgebiete zum Teile ihren raschen Aufschwung. Nicht nur, daß der Bergmann,



Die drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol. Vgl. Text, S. 11.

der Ingenieur und viele andre mannigfach selbst beobachtend und sammelnd zur Vermehrung der Menge der bekannten Thatsachen und des theoretischen Wissens beitragen, sondern die allgemein Platz greifende Überzeugung von dem materiellen Nutzen, den die Pflege dieser Wissenszweige gewährt, hat auch in den meisten zivilisierten Staaten Veranlassung gegeben, daß bedeutende Geldmittel für geologische Untersuchungen aufgewandt und dadurch zahlreichen Forschern ermöglicht wurde, ihre Studien im Felde in großem Maße durchzuführen.

Geschichte der Geologie.

Es ist befremdend, daß Wissenschaften von so hoher Bedeutung wie die Geologie und Paläontologie, die sich überdies nicht selten mit Erscheinungen und Verhältnissen der augenfälligsten Art aus unsrer steten, unmittelbarsten Umgebung beschäftigen, erst spät zum Gegenstande rationeller Studien gemacht worden sind. Wohl fällt ein großer Teil der Schuld auf den unduldsamen Geist des Mittelalters, der jeden hier so naheliegenden Widerspruch gegen die mosaische Tradition zu einem großen persönlichen Wagnisse werden und manchen Forscher seine unabhängige Meinung auf dem Scheiterhaufen büßen ließ; doch genügt das nicht zur vollen Erklärung, zumal da wir finden, daß schon im Altertume die Erkenntnis in dieser Richtung eine verhältnismäßig geringe war. Ja, wenn wir die allmähliche Entwickelung von Geologie und Paläontologie zu ihrer jetzigen Ausbildung zu schildern versuchen, so können wir dabei die Leistungen des Altertumes fast ganz außer acht lassen. Käme es darauf an, eine Geschichte der Wissenschaften bei Griechen und Römern zu schreiben, so müßten natürlich die Spuren einer Forschung in unsern Fächern genau verfolgt werden; wo es sich aber darum handelt, nachzuweisen, in welcher Zeit unsre Auffassung wurzelt, und was auf sie von Einfluß gewesen ist, da wird nur wenig aus jener Zeit zu nennen sein, und dieses wenige hat wesentlich hemmend und verzögernd auf die spätere Entwickelung gewirkt.

Allerdings darf als sicher angenommen werden, daß die Kenntnisse der Alten in der Geologie nicht ganz so gering waren, wie sie uns nach den erhaltenen naturwissenschaftlichen Schriften scheinen mögen, und daß aus dem Schiffbruche der alten Litteratur nur verhältnismäßig wenig hierher Gehöriges gerettet worden ist. Die Schöpfungssagen der Hebräer und Ägypter lassen uns erraten, daß ihr Ursprung bei einem Volke zu suchen sei, welches die Natur zu beobachten und aus ihren Erscheinungen Schlüsse abzuleiten wußte; die bekannten Stellen aus Herodot über die Ansichten, welche die Ägypter über die Anschwemmung ihres Landes durch den Nil hegten, zeigen, daß jenes merkwürdige Volk in dieser Richtung weiter fortgeschritten war als irgend ein andres im Altertume. Vielleicht wird irgend eine jener morschen Papyrusrollen, deren Entzifferung noch aussteht, uns auch in dieser Richtung ebenso überraschende Kunde bringen, wie wir mancher andern schon die interessantesten Aufschlüsse verdanken. Für die spätere Entwickelung der Wissenschaft bei uns aber sind die Forschungen der Ägypter nur mittelbar von Einfluß gewesen, insofern sie nämlich solchen auf die mosaischen Berichte oder auf die Anschauungen der Griechen und Römer geübt haben.

Daß bei diesen die wenigen geologischen Auffassungen, denen wir begegnen, von fremder Einwirkung der alten Kulturvölker aus dem Tieflande des Euphrats oder des Nils wenigstens teilweise bedingt waren, wird jetzt wohl ziemlich allgemein anerkannt, und vor allem mag das von der halb mythisch gewordenen Persönlichkeit des Pythagoras und von seiner berühmten Schule gelten. Sie lehrten, daß die äußere Gestalt der Erde steten Veränderungen unterworfen sei, daß stellenweise das Land sich unter das Meer

senke, an andern Stellen dagegen aufsteige, daß Vulkane abwechselnde Perioden der Ruhe und der Thätigkeit zeigen ꝛc.

Von andern waren ähnliche Schlüsse über die Verteilung von Wasser und Land aus dem Vorkommen von Versteinerungen gezogen worden, und so finden wir zerstreut richtige Ahnungen und unmögliche Vorstellungen von der Beschaffenheit der Erde und den Veränderungen, denen sie unterworfen ist. Wir bewundern auch hier die Spuren des Geistes, der die Griechen auf andern Gebieten die Lehrmeister der Welt werden ließ; aber auf dem Felde der Geologie mußten sie am Mangel systematischer Naturbeobachtung scheitern. Zu den denkwürdigsten Erscheinungen gehört es aber, daß schon unter den hellenischen Denkern zwei Vorläufer der Lehre Darwins auftreten. Anaximander, der im Jahre 610 vor Christo geboren war, lehrte, daß der Mensch von anders gearteten Geschöpfen abstammen müsse, da alle Tiere sich leicht ihren Unterhalt verschaffen können, nur der Mensch nicht, und dieser hätte sich nicht zu erhalten vermocht, wenn er ursprünglich so in die Welt gesetzt worden wäre, wie es jetzt geschieht; er nimmt an, daß der Mensch von Fischen oder diesen ähnlichen Wasserbewohnern abstamme. Leider wissen wir nichts Genaueres von der Lehre dieses Philosophen, da seine Werke verloren gegangen sind und uns der erwähnte Ausspruch nur durch zufällige Citate bei einem Kompilator aus sehr viel späterer Zeit überliefert ist.

Noch merkwürdiger sind vielleicht die Ansichten, welche der größte Naturforscher des griechischen Altertumes, Aristoteles, über einen verwandten Gegenstand äußerte. Bei ihm sehen wir schon eine erste Andeutung des Grundprinzipes von Darwin, der Lehre von der natürlichen Zuchtwahl. Er sagt, daß gewisse Vorgänge in der Natur nicht stattfinden, um einen bestimmten uns plausibel scheinenden Endzweck zu erfüllen, daß der Regen nicht niederfällt, um das Korn wachsen zu machen, sowenig, als er fällt, um das Korn zu verderben, wenn es unter freiem Himmel gedroschen wird; ebenso stehe der Annahme nichts im Wege, daß die einzelnen Teile der Organismen sich nicht bilden, um einen bestimmten Lebenszweck zu erfüllen, sondern daß dieselben in der verschiedensten Weise bald zweckmäßig, bald unzweckmäßig entstanden seien; allein nur diejenigen Formen, bei welchen das erstere der Fall war, hätten sich erhalten, während die andern zu Grunde gegangen seien oder noch jetzt zu Grunde gingen.

Auch in mancher andern Richtung finden wir bei Aristoteles eine bedeutende Auffassung einzelner geologischer Thatsachen. Er berichtet von Seen, die ausgetrocknet sind, von den Fortschritten der jährlichen Anschwemmung im Nildelta und spricht von Hebungen und Veränderungen des Landes, die jedoch so langsam vor sich gehen, daß sie innerhalb eines Menschenlebens keine merkbaren Resultate hervorbringen. Allein nicht in allen Dingen war der große Forscher aus Stagira so glücklich, und namentlich bezüglich der Versteinerungen scheint er minder richtige Anschauungen gehegt zu haben als manche seiner Vorgänger; wohl nur beiläufig erwähnt er, daß die bei Heraklea in Kleinasien vorkommenden versteinerten Fische aus hinterlassenem Samen von Seefischen an Ort und Stelle entstanden sein könnten. Es wird niemand einfallen, wegen einer nur nebenbei geäußerten irrigen Ansicht den Ruhm des großen Mannes antasten zu wollen; ihm fällt die Schuld nicht zu, daß eine derartige Idee von einer spätern Zeit begierig aufgegriffen und in allen möglichen und unmöglichen Weisen variiert wurde. Aber Thatsache ist es, daß diese seine Auffassung die Anschauungen im Mittelalter und im Beginne der modernen Zeit aufs stärkste beeinflußte und Veranlassung zu fast unausrottbaren Irrtümern gab, die mehr als zweitausend Jahre nach Aristoteles sich erhielten, ja selbst in unserm Jahrhundert noch einen Anhänger unter den Geologen gefunden haben.

Beim Wiedererwachen der Wissenschaften nach den Stürmen der Völkerwanderung und ihren Nachwehen beschränkte sich die Naturforschung lange Zeit hindurch auf das

Studium der Überlieferung aus alter Zeit, vor allem der mosaischen Tradition und der Werke des Aristoteles. Aus jeder dieser beiden Quellen erhielt die geologische und paläontologische Richtung fast nur verderbliche Angebinde, aus der einen die Lehre von der Erschaffung der Welt in sieben Tagen und von der noachitischen Sintflut, aus der andern die Ansicht, daß die Versteinerungen nicht Reste von Tieren seien, die einst wirklich gelebt haben, sondern daß sie im Gesteine selbst durch irgend welche sehr verschieden gedeutete Vorgänge entstanden, daß sie Naturspiele seien.

Letztere Vorstellung finden wir schon im 11. Jahrhundert bei dem arabischen Arzte und Naturforscher Ibn Sina (Avicenna) vertreten, der in seinem Werke über die Einteilung und Bildung der Steine annimmt, daß eine besondere plastische Kraft die Versteinerungen im Innern der Erde hervorgebracht habe. Diese Meinung fand im Abendlande von Albertus Magnus im 13. Jahrhundert an zahlreiche Anhänger; bald waren die Versteinerungen Naturspiele, bald waren es die ersten Versuche des Schöpfers, der seine Geschicklichkeit zunächst an derartigen Mineralgebilden versuchte, ehe er sich an die



Ein Stück sogenannten Ruinenmarmors, von Kircher als eine Stadt mit Türmen ergänzt. Vgl. Text, S. 17.

Erschaffung wirklicher, belebter Wesen wagte. Fallopio erklärte fossile Elefantenzähne und sogar die Topfscherben des Monte Testaccio bei Rom für erdige Konkretionen, und Agricola meinte, daß die im Felsen eingeschlossenen Muscheln durch den Einfluß der Wärme aus der zähen und dicklichen Materie entstanden seien, während er allerdings in den Knochen, Blatt- und Fischabdrücken die Reste ehemaliger Tiere und Pflanzen, die durch einen Steinsaft erhärtet worden sind, erkannte. Ein andrer schrieb die Entstehung der Versteinerungen dem Einflusse der Gestirne zu, und noch im vorigen Jahrhundert hatte die Theorie viele Anhänger, daß vom Meere her eine Samenluft wehe, die in den Gesteinen die „Figurensteine" erzeuge; ja, ein Reisender hielt die Ruinen einer Stadt mit ihren Marmorstatuen, die er in der Wüste der Kyrenaika in Nordafrika auffand, für eine derartige Bildung.

Es ist fast unglaublich, daß solche Ansichten sich so lange halten konnten. So tief eingewurzelt waren diese Vorurteile, daß sie selbst in unserm Jahrhundert noch Vertreter fanden und ein namhafter Geolog die Versteinerungen für „nie geborne Embryonen von Organismen einer frühern Erdperiode" erklärte. Indessen ist es für jene Zeiten, wo richtige naturhistorische Auffassung noch kaum vorhanden war, ganz begreiflich, wie eine derartige Meinung entstehen konnte. Man sah z. B. die verschiedenen Farbenzeichnungen

des Achates, des Marmors, in denen sich bei einiger Phantasie leicht Bilder von Menschen und Tieren, von Landschaften und allen möglichen andern Dingen finden ließen; diese konnten doch nicht wirkliche Versteinerungen ehemals selbständig existierender Körper sein. Die Stadt mit Türmen (ein Stück sogenannten Ruinenmarmors, vgl. Abbildung, S. 16) mußte offenbar eine zufällige Bildung sein, und da die Möglichkeit solcher Vorkommnisse einmal gegeben war, so lag es immerhin nahe, auch in den eigentlichen Versteinerungen ähnliche Erscheinungen zu sehen.

So verbreitet aber auch die Ansicht war, daß man es nur mit „Figurensteinen" zu thun habe, so fand sie doch sehr entschiedene Gegner; vor allen war es die Schule der „Diluvianer", welche ihr entgegentrat und die Versteinerungen als Überreste der noachitischen Flut erklärte. Die durch Jahrhunderte fortgesetzte Kontroverse über diese Frage scheint der Neapolitaner Alexander ab Alexandro (15. Jahrhundert) eröffnet zu haben, welcher behauptete, daß die fossilen Muscheln, die sich in den kalabrischen Bergen finden, von der großen Sintflut herrühren, nachdem Orosius schon im 5. Jahrhundert eine ähnliche Ansicht ausgesprochen hatte. Es ist natürlich, daß zu einer Zeit, in welcher die Theologie alle Wissenschaften beherrschte und die religiöse Frage bei fast allen Forschungen die wichtigste war, diese Ansicht, die eine handgreifliche Bestätigung des biblischen Berichtes zu liefern schien, mit großem Beifalle aufgenommen wurde und eine große Menge von Anhängern fand. Freilich, daß die Erklärung falsch war, kann ebensowenig einem Zweifel unterliegen, wie es heute feststeht, daß nie seit der Anwesenheit des Menschen auf Erden eine große, allgemeine Flut hereingebrochen ist. Trotzdem hat die Sintfluttheorie doch den einen großen Vorzug vor derjenigen ihrer Gegner, daß sie wenigstens in den Versteinerungen die Reste von Organismen, von wirklichen Pflanzen und Tieren, anerkannte.

Die Diluvialtheorie gewann mehr und mehr Boden, und wenn sie im 16. Jahrhundert noch nicht die Oberhand hatte, so scheint doch im 17. die Mehrzahl ihr angehangen zu haben und ebenso zu Anfang des 18. Jahrhunderts, wo sie durch eine Reihe ausgezeichneter Forscher, wie Woodward, Bayer, Scheuchzer und andre, vertreten war. Der letztere namentlich verteidigte seine Überzeugung mit größtem Eifer und wahrer Begeisterung und bekämpfte die Ansicht, daß die Versteinerungen nur Naturspiele seien. In seiner Schrift „Piscium querelae et vindiciae" läßt er die fossilen Fische unter ihrem Anführer und Vorkämpfer, einem gewaltigen Hechte aus den Steinbrüchen von Öningen, in einer langen lateinischen Rede sich über das bittere Unrecht beklagen, das ihnen geschehe; erst wären sie ohne die geringste Schuld von ihrer Seite bei der Sintflut kläglich zu Grunde gegangen, und jetzt wolle man sie nicht einmal als das, was sie seien, anerkennen, sondern für mineralische Stein- und Mergelgeburten erklären. Später glaubte Scheuchzer sogar in einem fossilen Riesensalamander aus Öningen einen jener verruchten Menschen gefunden zu haben, die bei der Sintflut untergegangen waren, und besang denselben in schwungvollen Versen. „Ein recht seltenes Denkmal jener verfluchten Menschengeschlechter der ersten Welt. Die Abbildung gibt zu erkennen den umcreyß des Stirnbeins, die Augenleisen, das Loch an der untern Augenleise, welches dem großen Nerven vom fünften Paar den Durchpaß gibt, Überbleibsel des Gehirns, das Jochbein, etwas übriges von der Nasen, ein ziemlich Stück von denen kauenden Mäuslein, weiter 16 Rückgratwirbel und Anzeigen der Leber.

Betrübtes Beingerüst von einem armen Sünder,
Erweiche Stein und Herz der neuen Bosheitskinder."

Man kann sich kaum des Bedauerns erwehren, wenn man sieht, daß ein so verdienstvoller und tüchtiger Naturforscher wie Scheuchzer sich von der Begeisterung für eine Vorstellung so weit vom rechten Wege hat ablenken lassen; unter seinen Zeitgenossen aber brachten ihm gerade diese Schriften vielleicht mehr Ruhm als seine andern wirklich wichtigen

und bedeutenden Untersuchungen, durch die er der Vater der Alpenforschung geworden ist. Noch nach ihm dauerte der Kampf der beiden Schulen fort, bis die Ansichten der einen wie der andern, ohne widerlegt zu sein, vor einer richtigern Erkenntnis verschwanden und in Vergessenheit gerieten.

Es ist das eine merkwürdige, sich immer wiederholende Erscheinung in der Geschichte der Wissenschaft: eine neue und richtige Auffassung, die sich nicht auf neues handgreifliches Material von Thatsachen, sondern auf eine bessere Deutung schon bekannter Beobachtungen stützt, gelangt nicht dadurch zur allgemeinen Annahme, daß die Gegner durch die Macht der Gründe widerlegt und überzeugt werden, sondern dadurch, daß dieselben aussterben und die junge Generation die neue Theorie als selbstverständlich annimmt, so daß eine solche in der Regel ein Menschenalter braucht, um sich Eingang zu verschaffen.

Wohl fehlte es selbst in früher Zeit nicht an Männern, die eine bessere Ansicht vertraten, als die der beiden herrschenden Schulen war, und merkwürdigerweise fand sich diese richtigere Auffassung nicht bei zünftigen Gelehrten, sondern bei denkenden Laien, welche, unbeirrt von Schulmeinungen, die Sachen einfach mit klarem Blicke so ansahen, wie sie waren. Es ist allbekannt, daß der erste (oder einer der ersten), welcher eine natürliche Vorstellung von der Entstehung der Versteinerungen hatte, einer der größten Künstler aller Zeiten war, Leonardo da Vinci (gest. 1519), der bei Kanalbauten, die er in seiner Jugend leitete, reiche Lager fossiler Muscheln gefunden hatte. Er schloß daraus, daß das Meer einst höhern Stand gehabt als jetzt, und daß in ihm jene Muscheln gelebt hätten, während er aus dem Mitvorkommen abgerollter Kiesel folgerte, daß damals in der Nähe ein Fluß ins Meer mündete, der Rollsteine mitbrachte.

In derselben Weise äußerte sich etwas später Fracastoro, und in Paris forderte im Jahre 1580 Palissy, ein intelligenter Fabrikant, die ganze Universität zur Disputation über die Natur der Versteinerungen heraus; allein alle diese Meinungen blieben vereinzelt und ungehört, das 15. und 16. Jahrhundert waren ihnen nicht günstig. Selbst im 17. Jahrhundert konnten sie noch nicht allgemein Platz greifen, wenn ihnen auch in einer Reihe bedeutender Forscher, wie Fabio Colonna, dem in Florenz lebenden Dänen Steno und andern, sehr bedeutende Vertreter erwuchsen. Erst die letzten Jahre des 17. und das 18. Jahrhundert sahen die Wahrheit zum Durchbruche kommen; aber auch in dieser Periode noch finden wir bei allen Schriftstellern immer die äußerste Mühe angewandt, um die entgegenstehenden Meinungen zu widerlegen, und so ringt sich allmählich durch die Werke von Leibniz, Spener, Hooke, Vallisneri, Spada und andern die Überzeugung zur Anerkennung hindurch, daß die Versteinerungen wirklich Reste von Tieren und Pflanzen seien, die in früher Urzeit auf der Erde lebten, und deren Ablagerungen mit den Fluten der alten Völkersagen nichts zu thun haben.

Wie in der Deutung der Versteinerungen, so machte sich auch in den wenigen andern Versuchen, geologische Vorgänge zu erforschen, noch wenig richtige Anschauung geltend. Ein wesentlicher Hemmschuh war vor allem der mosaische Schöpfungsbericht, bei der Mehrzahl unmittelbar durch die überwältigende Autorität, deren er sich erfreute, bei der Minderheit durch die Furcht vor den verhängnisvollen Folgen, welche ein Widerspruch jedem, der ihn wagen würde, zu bringen drohte. Jahrhundertelang blieb dieser Gesichtspunkt maßgebend, unter schweren Kämpfen mußte sich endlich die Geologie ihre Unabhängigkeit erringen, und noch heute ist in vielen Kreisen die Ansicht verbreitet, daß jeder Zwiespalt, der sich hier zwischen Forschung und Tradition ergebe, im höchsten Grade bedauerlich sei. Die einen suchen noch immer die verschiedenen Ergebnisse der Geologie mit dem biblischen Berichte in Einklang zu bringen, während die andern in jener eine gefährliche und profane Wissenschaft sehen, die auf Abwege geraten sei.

Eine solche Auffassung ist schwer zu verstehen; man begreift nicht, wie Religion und Autorität der Bibel dadurch gefährdet sein sollen, daß man in den ersten Kapiteln der Genesis einfach die pietätvolle Sammlung alter Stammessagen der Hebräer sieht, statt in der kindischen Deutung zu beharren, daß man es mit einem in seiner Kürze und vielfach allegorischen Fassung unverständlichen Kompendium der Geologie zu thun habe. Der Glaube hat keinen Schaden durch die Erkenntnis genommen, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, und der Gläubige wird in seiner Überzeugung nicht gestört werden, wenn das Sechstagewerk sich wissenschaftlich unhaltbar erweist.

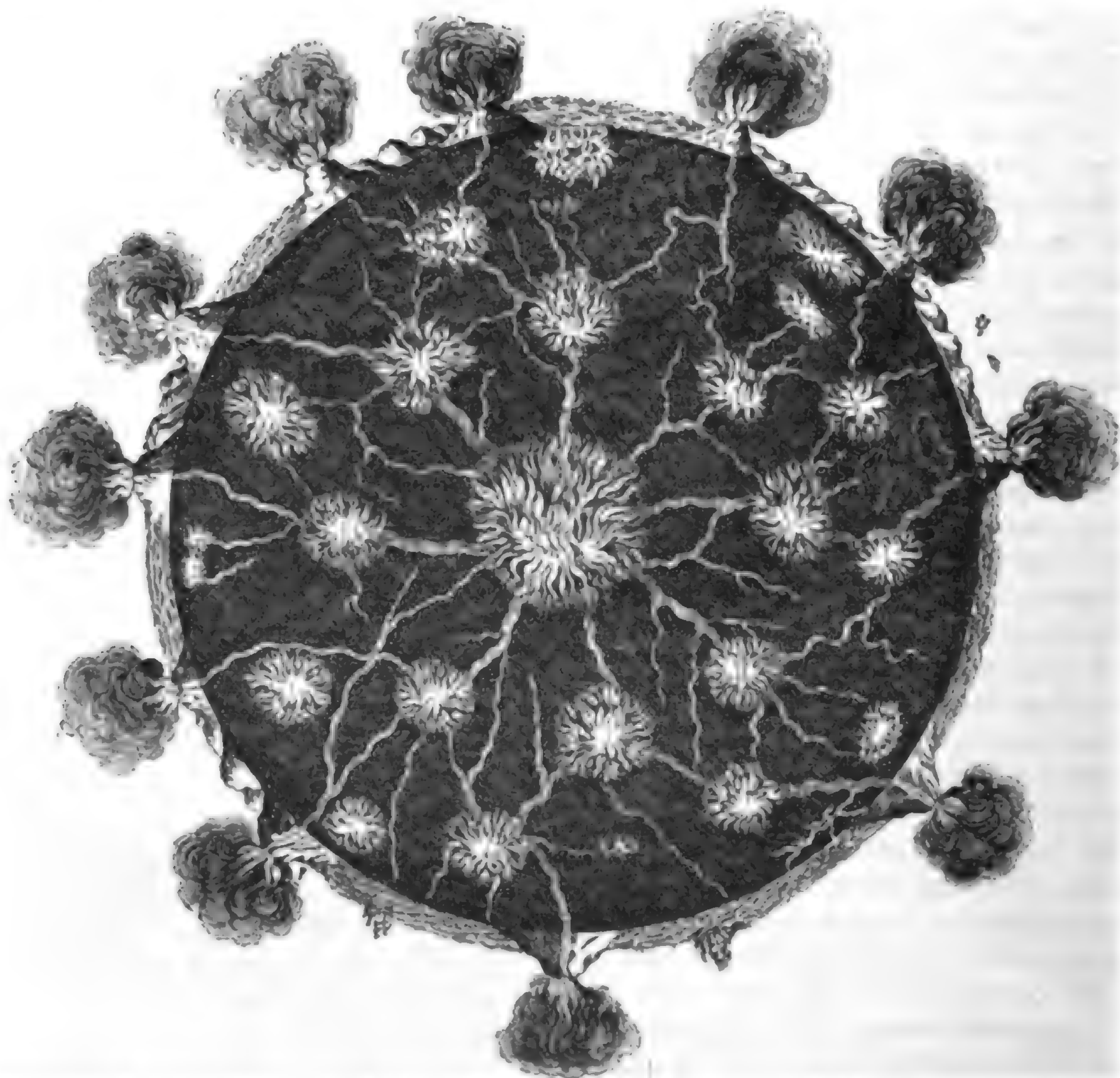
Wie dem auch sei, hier lag das große Hindernis für eine gedeihliche Entwickelung der Geologie. Es verlohnt sich kaum der Mühe, jene Anschauungen eingehend zu besprechen, da sie doch nichts weiter enthalten als eine dürftige Umschreibung des mosaischen Berichtes. Der erste Forscher, der eine selbständige und in vieler Beziehung richtige Ansicht entwickelte, war Steno (1669), den wir schon früher als einen der ersten kennen gelernt haben, welche die Bedeutung der Versteinerungen richtig erfaßten; er beachtete genau die Schichtung, die er der Ablagerung aus dem Wasser zuschrieb, und folgerte, daß alle Schichten ursprünglich horizontal gelagert gewesen und daß geneigte Schichten durch spätere geologische Vorgänge vulkanischer Natur aufgerichtet worden seien. Er unterschied zwischen marinen und Süßwasser-Ablagerungen, wie schon Fabio Colonna vor ihm gethan; aus der Beobachtung der Lagerungsverhältnisse suchte er eine Art geologischer Chronologie abzuleiten und den Beweis zu führen, daß Toscana, mit dessen Studium er sich beschäftigt hatte, in der Vorzeit zweimal vom Meere bedeckt, zweimal eine niedere Ebene und zweimal Bergland gewesen sei. Wohl sind auch hier in den Einzelheiten große Fehler vorhanden und viele Beobachtungen und Deutungen unrichtig, aber es ist wenigstens der Versuch gemacht, eine auf Beobachtung sich stützende einheitliche Auffassung der Erscheinungen zu geben, die denn auch in einigen Punkten das Richtige traf. Steno hat es wohl verdient, daß ihm, wie der internationale Geologenkongreß in Bologna 1881 beschloß, ein Denkmal auf das Grab gesetzt wird.

Noch höher steht mit seinen geologischen Ansichten der große Leibniz (1680), der eine der heutigen schon ziemlich nahekommende Auffassung von der Bildung unsers Planeten hatte. Nach ihm war anfangs die Erde in geschmolzenem Zustande, aus dem sie sich dann durch allmähliche Abkühlung zu einer festen Kugel verdichtete; dabei entstanden die ursprünglichen, meist glasigen Gesteine, worunter allerdings auch der Quarz als ein Glas figurierte. Als die Erde genügend abgekühlt war, schlug sich das Wasser in tropfbarflüssiger Gestalt nieder und bildete die Meere, in denen sich die geschichteten Gesteine absetzten und ursprünglich die ganze Erdoberfläche bedeckten. Erst allmählich versank ein Teil des Wassers in Hohlräume, die sich im Innern der Erde bei der Erstarrung wie Blasen gebildet hatten und nun einstürzten. Auf diese Weise seien durch längere Zeiträume Veränderungen vor sich gegangen, bis endlich der heutige Gleichgewichtszustand hergestellt war.

Im Gegensatze dazu nahm der gelehrte Jesuit Athanasius Kircher in Beziehung auf den Ursprung der Erde ganz den Wunderstandpunkt ein, aber daneben finden wir bei ihm doch eine Reihe wichtiger und interessanter Beobachtungen und Ansichten. So erinnert die Art und Weise, wie er sich das Vorhandensein einzelner „Pyrophylacien" dachte, Partien geschmolzener Gesteine, die im Innern der Erde befindlich sind und die Vulkane speisen (vgl. die Abbildung, S. 20), sehr lebhaft an ähnliche Vorstellungen, welche in unsrer Zeit große Verbreitung gefunden haben. Ein andrer Gedanke, der in unserm Jahrhundert durch Elie de Beaumont in extremer Weise ausgebildet worden ist, die Idee, daß die Gebirge der Erde nach einer Anzahl gesetzmäßig verlaufender Linien streng geometrisch angeordnet seien, tritt bei Kircher zum erstenmal auf, und ebenso finden wir hier die erste Nachricht von thatsächlichen Beobachtungen, daß die Erde nach der Tiefe zu, z. B. in

Bergwerken, wärmer werde. Rechnen wir dazu noch die Beschreibung des großen kalabrischen Erdbebens vom Jahre 1638 und die Schilderung der unteritalienischen Vulkane, die leider durch höchst naturwidrige Abbildungen von Ätna und Vesuv verunziert ist, so werden wir jedenfalls dem Verfasser des „Mundus subterraneus" einen ehrenvollen Platz in der geologischen Litteratur des 17. Jahrhunderts anweisen müssen.

Von Engländern sind hier **Hooke** (1668) und der berühmte Zoolog **Ray** (1692) zu nennen, zwei Männer, die ihrer Zeit weit vorangeeilt waren und außerordentlich richtige



Ansicht des Erdinnern und seines Zusammenhanges mit den Vulkanen (Kopie nach Athanasius Kircher). Vgl. Text, S. 19.

Ideen, wenn auch nicht selten arg mit irrigen Vorstellungen gemischt, zum Ausdrucke brachten. Sie sprachen bereits von der Möglichkeit, aus den Tierresten der aufeinander folgenden Schichten eine Geschichte der Organismen zu rekonstruieren, die allerdings nur die Zeit von Adam bis zur Sintflut umfassen sollte; aus der Form mancher Fossilien folgerte **Hooke**, daß in früherer Zeit ein wärmeres Klima als jetzt in England geherrscht habe.

So sehen wir auch auf diesem Gebiete allmählichen Fortschritt. Auf der Grenze zwischen der ältern und der neuern Periode in der Entwickelung der Naturgeschichte tritt uns **Buffon** entgegen, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in glänzender Weise

den vorgeschrittensten Standpunkt der damaligen Zeit vertrat, indem er, namentlich auf die Beobachtungen Guettards, eines der frühsten Geologen im modernen Sinne, gestützt, eine der jetzigen schon vielfach nahestehende Auffassung vertrat und sich von der mosaischen Tradition mit voller Entschiedenheit lossagte, ein Verdienst, das selbst durch den Widerruf, zu dem er sich später verleiten ließ, kaum geschmälert wird.

Die neue Entwickelung der Geologie wurde zunächst dadurch angebahnt, daß die genaue, ins einzelne gehende Beobachtung der Natur eine Ausdehnung und Bedeutung gewann, von der man in früherer Zeit keine Ahnung gehabt hatte. Finden sich in Werken älterer Zeit in weit ausgesponnenen theoretischen Auseinandersetzungen höchstens einzelne Beobachtungen als Belege eingestreut, so gewinnt jetzt die wissenschaftliche Beobachtung in der Natur das Übergewicht. Wir haben schon den Franzosen Guettard angeführt, von Engländern sind Mitchell und Packe, der Verfasser der ersten geologischen Karte, von Italienern Arduino (1759) zu nennen; vor allen aber waren es zwei deutsche Forscher, Lehmann (1756) und Füchsel (1762), welche sich durch ihre genauen Studien über die Lagerung und Aufeinanderfolge der geschichteten Gebilde die größten Verdienste erwarben und den Grund legten, auf dem dann das Gebäude der modernen Geologie aufgeführt wurde.

Der große Mann, welchem die wissenschaftliche Geologie oder Geognosie ihr Bestehen verdankt, ist am Anfange dieses Kapitels genannt: Gottlob Abraham Werner, geboren am 25. September 1750 zu Wehrau am Queis (Lausitz), gestorben am 30. Juni 1817 in Dresden, der berühmte Lehrer an der Freiberger Bergakademie, dessen Schule sich über die ganze Welt verbreitete, und dem es beschieden war, zwei Größen wie Alexander v. Humboldt und Leopold v. Buch in die Wissenschaft einzuführen.

Werner war in erster Linie ein klarer, ordnender Kopf wie Linné; was dieser für die Botanik und Zoologie, leistete jener für die Mineralogie und Geologie. Beide waren scharfe Beobachter, beide fühlten, was einer gesunden Entwickelung ihrer Wissenschaften vor allem not that, beide gaben ein festes System, das die frühern Beobachtungen zusammenfassen, den künftigen als Ausgangspunkt dienen sollte. Sie schufen neue Bezeichnungsweisen, neue Methoden und können sich rühmen, zu einem ans Wunderbare grenzenden Aufschwunge den Anstoß gegeben zu haben. Sie beherrschten das Wissen und die Ideen ihrer Zeit, sie waren die anerkannten Führer auf ihren Gebieten, wenigstens solange sie in ihrer Vollkraft standen; aber keinem von beiden war ein tiefes Eindringen in die Ursachen oder jener geniale Schwung gegeben, der stellenweise über die Grenze der Erfahrung und den Horizont der Zeitgenossen mit kühnen, jedoch glücklichen und richtigen Analogieschlüssen hinausgreift und eine der Mitwelt noch unverständliche Wahrheit ahnt und verkündet.

Zunächst stellte Werner ein System der Mineralogie auf, das bis dahin noch fehlte, und wirkte dadurch in hohem Grade fördernd auf diesem Gebiete; dann wandte er sich der Gesteinslehre zu und gab den bis dahin oft ziemlich willkürlich angewandten Namen, wie Granit, Syenit, Gneiß, Basalt, Grauwacke, eine ganz bestimmte Bedeutung, wodurch erst eine präzise Behandlung und die wissenschaftliche Vergleichung verschiedener Gegenden möglich wurden. Nächstdem war es die Schichtung und die Art ihres Auftretens, der Werner seine Aufmerksamkeit zuwandte, die er schärfer beobachtete; er hob die Wichtigkeit des Streichens und Fallens geneigter Schichten hervor und unterschied zwischen gleichmäßiger und ungleichmäßiger Lagerung. Wohl waren das keine unbedingten Neuerungen, manche dieser Methoden hatte man schon vor ihm angewandt; aber er bildete dieselben weiter aus und führte deren allgemeinen Gebrauch herbei. Hand in Hand damit ging die Einteilung der sämtlichen Gesteine in nach Zeit und Lagerung aufeinander folgende große Gruppen, die „Formationen“, ein Begriff, den Werner von Füchsel übernahm, wie er denn überhaupt in der Aufstellung der Reihenfolge der Schichtgesteine nicht sehr weit über Lehmann und Füchsel hinausging.

Das sind die großen Verdienste, durch die sich Werner den Namen des Vaters der Geologie wohl erworben hat, und es ist bezeichnend für die neue Richtung der Wissenschaft, welche die Beobachtung in ihre Rechte einsetzte, daß das die Welt beherrschende System seinen Ursprung nicht großen Reisen und ihren den Blick erweiternden Eindrücken, nicht dem Überblicke über große Verhältnisse, sondern der eingehendsten Vertiefung in die örtliche Entwickelung eines kleinen Bezirkes, des Erzgebirges, verdankt.

Minder glücklich war Werner in seinen theoretischen Spekulationen. Als die Unterlage, auf der alle jüngern Bildungen sich abgelagert hatten, betrachtete er das „uranfängliche Gebirge“ oder „Grundgebirge“, den Granit, Gneiß, Glimmerschiefer, Thonschiefer, Porphyr rc., worauf die große Masse des „Flözgebirges“ und endlich das „aufgeschwemmte Gebirge“ folgte. Alle diese Bildungen, mit Ausnahme des Grundgebirges, haben sich nach ihm aus dem Wasser der Reihe nach abgelagert in ursprünglich wagerechten oder nur sehr wenig geneigten Schichten; stark geneigte Lagerung betrachtet er nur als ganz beschränkte Ausnahme, die lokalen Einstürzen ihre Entstehung verdanke. Irgend welche größere und allgemeinere Störungen kommen nach ihm nicht vor, und auch die vulkanische Thätigkeit hält er für eine auf die allerneueste Zeit beschränkte, rein lokale Erscheinung, die in frühern Perioden nicht aufgetreten sei. Infolgedessen war er genötigt, die jüngern Eruptivgesteine der Tertiärzeit, vor allen den Basalt, auch für einen wässerigen Absatz, den Basalt sogar für das jüngste aller Flözgesteine zu erklären, das einst in einer ununterbrochenen Decke alle Festländer bedeckt habe und erst allmählich durch zerstörende Agenzien bis auf einzelne in verschiedenen Gegenden auftretende Kuppen abgetragen worden sei; er mußte ferner in strenger Konsequenz seiner Lehre annehmen, daß in verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte das Wasser in unerklärlicher Weise angestiegen und dann wieder gesunken sei, und daß alle Gebirge rc. ihre Entstehung und Form lediglich der ausnagenden Wirkung des Wassers verdanken.

Es sind das in kurzen Hauptzügen die Ansichten Werners oder wenigstens eine Darstellung, welche sich von denselben nicht allzuweit entfernt, denn eine genaue Wiedergabe besitzen wir nicht. Im größten Maßstabe und mit glücklichstem Erfolge als Lehrer thätig, konnte er sich doch nie zu ausgedehnter litterarischer Thätigkeit entschließen; wir haben nur wenige kleine Aufsätze von ihm, die keinen Überblick über seine Auffassung geben, und sind in dieser Richtung auf die später abgedruckten Kollegienhefte eines seiner Schüler angewiesen, von denen schon damals gesagt wurde, man dürfe sich ihrer nur mit großer Vorsicht bedienen, um die Ansichten Werners kennen zu lernen. Jedenfalls ist sicher, daß diese in ihrem theoretischen Teile namhafte Irrtümer enthalten, und da die Richtung der Geologie in mancher Hinsicht bald darauf in das entgegengesetzte Extrem umschlug, so wurden ihm diese vielfach sehr schwer angerechnet, seine Bedeutung hart und ungerecht beurteilt und sein Wirken von einzelnen Kurzsichtigen geradezu als ein Hemmschuh der wissenschaftlichen Entwickelung betrachtet. Es ist ja richtig, daß Werners Hartnäckigkeit in der Basaltfrage und noch mehr diejenige vieler ihm blind ergebener Schüler endlose Diskussionen überflüssiger Natur hervorgerufen und viel vergebliche Anstrengung verursacht hat; allein das ändert nichts an der Thatsache, daß die wissenschaftliche Geologie von ihm begründet und auf einen vorher nie geahnten, wenn auch später bald überschrittenen Höhepunkt gebracht worden ist.

Schüler des großen Mannes lebten in allen zivilisierten Ländern, verbreiteten seine Ansichten und brachten sie zur Herrschaft; es war die strenge Methode und das System, was sie auszeichnete, aber daneben machte sich, wenigstens bei vielen, das starre Festhalten an den Worten des Meisters, an seinem übertriebenen „Neptunismus“, der Lehre von der Entstehung aller Gesteine aus dem Wasser, geltend.

Gleichzeitig, teilweise noch etwas vor Werner trat eine Reihe bedeutender Männer auf, die zwar in der Methode von ihm nicht unbeeinflußt blieben, aber sich von seinen Ideen, wo diese auf Abwege gerieten, fern hielten und auf Thatsachen hinwiesen, die mit denselben nicht im Einklange standen. Zunächst ist hier Saussure zu erwähnen, der erste neuere Alpengeolog, der aus der Stellung der steil aufgerichteten und mit Kalksteinen und Schiefern wechsellagernden Konglomerate von Valorsine in der Montblanc-Gruppe schloß, daß sie einer gewaltigen, diesen ganzen Gebirgsstock betreffenden Zerreißung und Aufbiegung unterworfen gewesen seien, die noch vielfach sonst in den Alpen sichtbar war und mit der ruhigen Entwickelung, wie sie von Werner angenommen wurde, nicht übereinstimmte.

Vor allem war es die Basaltfrage, welche die heftigste Aufregung hervorbrachte. Schon unmittelbar nach dem Auftauchen der Ansichten Werners in dieser Richtung hatten dieselben in Deutschland, zuerst durch Voigt, einen um die Kenntnis des Thüringer Waldes sehr verdienten praktischen Geologen, Widerspruch erfahren; bald aber gewann diese Streitfrage ungeheuer an Ausdehnung, in allen Ländern standen sich die Schüler und die Gegner Werners, Neptunisten und Vulkanisten, feindlich gegenüber, und schließlich handelte es sich, besonders seit dem Eingreifen der schottischen Geologenschule unter Hutton, überhaupt darum, ob ein großer Teil aller Gesteine, die Massengesteine, die kristallinischen Schiefer, durch Feuer oder durch Wasser gebildet seien.

Hutton, der gegen Ende des vorigen Jahrhunderts (1788) seine Ansichten veröffentlichte, ging vor allem von dem Studium der sogenannten Gesteinsgänge aus, welche als Spaltausfüllungen verschiedene geschichtete und ungeschichtete Gesteine durchsetzen; in der Entstehung der Spalten sah er eine gewaltsame Zerreißung, in der Ausfüllung derselben mit Gestein einen eruptiven Vorgang, die Eintreibung einer geschmolzenen Masse, wie das ja auch in sehr vielen Fällen gewiß richtig ist. In erster Linie nahm er dies beim Basalte an, dessen Gänge auch oft das Nebengestein in einer Weise verändern, welche auf die Einwirkung von Hitze schließen läßt, dehnte aber seine Ansicht bald dahin aus, daß überhaupt alle Massengesteine vom Granite bis zum Basalte aus Schmelzfluß erstarrt seien; die kristallinischen Schiefer betrachtete er als durch die innere Erdwärme veränderte normale Schichtgesteine und wurde dadurch der Begründer der von jeher und noch heute so vielumstrittenen Lehre vom Metamorphismus, d. h. von der lange nach ihrer Ablagerung erfolgten Umwandlung und Umkristallisierung der Gesteine. Ja, er ging so weit, zu behaupten, daß die gewöhnlichen Absätze des Meeres nur durch die Einwirkung der Erdwärme zu Kalk, Sandstein, Thonschiefer &c. erstarren können. Auch die Entstehung der Gebirge schrieb Hutton nur der Erhebung und Aufrichtung durch von unten wirkende vulkanische Kräfte zu; als ein besonderes Verdienst ist hervorzuheben, daß er wohl der erste war, der von der ungeheuern Länge der geologischen Zeiträume eine genügende Vorstellung gab.

Die Werke Huttons sind in einer etwas unklaren und schwerverständlichen Sprache abgefaßt, welche der Verbreitung seiner Ansichten wohl sehr hinderlich gewesen wäre, wenn nicht Playfair, sein Freund und Anhänger, eine erläuternde und durch viele Beobachtungen belegte Darstellung derselben geschrieben hätte, während ein andrer Huttonianer, James Hall, sie durch seine berühmten Versuche über die Schmelzung und Erstarrung von Gesteinen stützte.

Die Huttonsche Theorie stellt dem Standpunkte Werners gegenüber einen sehr großen Fortschritt dar, der namentlich in der Anerkennung der Wirkung einer allgemeinen innern Erdwärme, in der Auffassung der Massengesteine als Erstarrungsprodukte und in der Erkenntnis der Thätigkeit gebirgsbildender Kräfte beruht. Ist auch keine dieser Ansichten ganz neu, so liegt doch in ihrer schärfern und allgemeinern Fassung zu einer zusammenhängenden Theorie ein sehr bedeutendes Verdienst. Der Nachweis des Vorkommens

granitischer Gänge, den Hutton zuerst lieferte, ist eine der interessantesten geologischen Beobachtungen. Endlich werden alle die, welche mehr oder weniger auf dem Boden des Huttonschen „plutonischen" Metamorphismus, der Lehre von der Veränderung der Gesteine durch die Erdwärme, stehen, in der Aufstellung dieser Lehre ein hohes Verdienst sehen; das wird von den zahlreichen Gegnern allerdings nicht anerkannt, doch müssen auch diese wenigstens zugestehen, daß jene von Hutton gegebene Idee außerordentlich anregend gewirkt hat.

Daneben sehen wir schwere Verirrungen herlaufen; die Bedeutung der innern Erdwärme für die Gesteinsbildung wurde außerordentlich überschätzt und durch die Vorstellung, daß selbst die normalen Flözgesteine auf diesem Wege erhärtet seien, geradezu in widersinniger Weise ins Extrem getrieben. Ebenso war die Annahme der Gebirgshebung durch vulkanische Kräfte, wenn auch ein Fortschritt gegenüber dem Wernerschen Standpunkte, doch ganz unhaltbar.

Nichtsdestoweniger kann gesagt werden, daß Hutton auf mehrere Dezennien hinaus der Geologie ihre Richtung gegeben hat, und selbst auf deren gegenwärtige Gestaltung ist der Einfluß seiner Lehre gar nicht unbedeutend. Der nächste Erfolg aber war ein mit äußerster Erbitterung und Hartnäckigkeit geführter, ziemlich unerquicklicher Streit zwischen Neptunisten und Vulkanisten, zwischen Wernerianern und Huttonianern, der sich lange fortspann, bis er endlich nach dem Tode Werners mit dem ziemlich allgemeinen Siege des Feuers über das Wasser endete, als einige seiner bedeutendsten Schüler, wie Leopold v. Buch und Alexander v. Humboldt, die sich bei Lebzeiten ihres Lehrers aus Pietät von der Diskussion fern gehalten hatten, für die eruptive Natur der Basalte eintraten, von der sie sich auf ihren Reisen in Italien und in den erloschenen Vulkangebieten Frankreichs überzeugt hatten.

Inzwischen schien es fast, als ob der Gegensatz zwischen den beiden feindlichen Schulen alles Interesse der Geologie absorbieren sollte; glücklicherweise fanden sich aber doch allmählich bedeutende Männer, die, des unerquicklichen Zankes müde, sich der reinen Beobachtung der Natur hingaben und so den weitern Fortschritt der nächsten Zeit anbahnten. Vor allem war es die genauere Feststellung wichtiger Lagerungsverhältnisse und namentlich eingehendes Studium des Flözgebirges, was durch eine Reihe ausgezeichneter Forscher in den verschiedensten Ländern gefördert wurde. Besonders in England machte sich die Reaktion gegen die Schulstreitigkeiten geltend, und hier wurde die jetzt noch blühende Geologische Gesellschaft gegründet (1807), die es sich zur Aufgabe stellte, unbeirrt von theoretischen Meinungsverschiedenheiten nur die geologische Beobachtung zu pflegen. Sie fußte mit ihren Untersuchungen vornehmlich auf der Grundlage, welche kurz vorher William Smith (1839), einer der merkwürdigsten und verdienstvollsten Männer, für das Studium der geschichteten Ablagerungen gegeben hatte.

Sowohl Werner als Hutton hatten dem Vorkommen der Versteinerungen in verschiedenen Schichtgruppen fast gar keine Aufmerksamkeit geschenkt; die große Lücke, die dadurch entstand, füllte William Smith aus, der eigentliche Begründer der neuern Richtung in der stratigraphischen Geologie, der Lehre von den Schichtgesteinen. Er war kein gelehrter Mann, er war ein Genie, das die Bedeutung seiner Entdeckungen kaum ahnte, und wäre in merkwürdiger Anspruchslosigkeit vielleicht nie zur Veröffentlichung seiner Beobachtungen gekommen, wenn ihn nicht seine Freunde dazu gedrängt hätten. Ohne irgend welche Verbindung mit einem Gelehrten seiner Zeit durchstreifte er als reiner Autodidakt die geschichteten Gebirge Englands, besonders aber ward ihm Gelegenheit zu eingehenden Studien, während er als Ingenieur den Bau eines Kanales leitete, bei welchem viele Aufschlüsse in versteinerungsreichen Schichten gemacht wurden. Als junger Mann von 26 Jahren (1795) war er dabei zu dem Resultate gelangt, „daß alle Schichten der Reihe nach auf dem Boden

des Meeres abgelagert worden seien, und daß jede derselben die versteinerten Überreste der zur Zeit ihrer Bildung lebenden Organismen enthalte", und ferner, „daß jede Schicht ihre eignen Fossilreste führe, durch welche man dieselbe in zweifelhaften Fällen (in entfernten Gegenden) wiedererkennen und identifizieren könne". Auf diese Weise gelang es ihm, die ganze Folge der englischen Schichtgesteine, von der Steinkohlenformation aufwärts bis zur Kreide, in eine Anzahl von Horizonten zu zerlegen, die in den verschiedensten Gegenden des Landes mit denselben Versteinerungen und in derselben Reihenfolge wieder auftreten. Wohl war Smith selbst in der Kenntnis der Versteinerungen sehr wenig bewandert, doch hatte er glücklicherweise die Bekanntschaft zweier Liebhaber der Paläontologie, Richardsons und Townsends, gemacht, welche die von ihm gesammelten Fossilien bestimmten. Noch immer dachte der Entdecker nicht daran, seine Resultate öffentlich bekannt zu machen; es war fast zufällig, als er eines Tages mit seinen beiden Freunden zu Mittag gegessen hatte, daß einer derselben vorschlug, die erkannte Schichtfolge einmal zu Papier zu bringen. Sie gingen sofort ans Werk, und Smith diktierte eine kurze Tabelle, enthaltend die Lokalnamen von 23 aufeinander folgenden Schichtgruppen, ihre gewöhnliche Mächtigkeit, die bezeichnendsten Fossilien, die Gesteinsbeschaffenheit und die wichtigsten Lokalitäten, an welchen jede derselben zu beobachten ist. Die Tabelle wurde nicht im Drucke veröffentlicht, sondern in zahlreichen Abschriften verbreitet und übte großen Einfluß auf die geologischen Auffassungen und Arbeiten; aber erst nach einem Zeitraume von fast 20 Jahren kam Smith dazu, die Resultate seiner Studien in einem größern Werke niederzulegen. Schon einige Jahre früher war die große geologische Karte von England erschienen, welche er in langjähriger angestrengter Arbeit und unter Darangabe seines Vermögens aufgenommen hatte, ein unvergängliches Denkmal seines gewaltigen Wollens und Könnens.

Während in England eine Anzahl tüchtiger Geologen, wie Buckland, Fitton, Mantell, Phillips und andre, in der gegebenen Richtung fortarbeiteten, erlangte unsre Wissenschaft in Frankreich eine außerordentlich hohe Entwickelung durch zwei Forscher, Brongniart und Cuvier (1808). Sie leisteten für das Pariser Becken das, was Smith für England gethan hatte, ihre Resultate sind aber von ungleich größerm, unmittelbarem Einflusse geworden, weil eine ganz ausgezeichnete Bearbeitung der paläontologischen Vorkommnisse mit den stratigraphischen Untersuchungen Hand in Hand ging; ein bedeutender Fortschritt war namentlich auch in der genauen Berücksichtigung der jüngern Ablagerungen, der sogenannten Tertiärformation, gegeben.

*

In diese Zeit fällt auch die glänzende Entwickelung der Paläontologie durch Cuvier, der hierin zuerst mit konsequent wissenschaftlicher Methode arbeitete, indem er unwiderleglich nachwies, daß die meisten fossilen Formen ausgestorbenen Gattungen und Arten angehören, und eine ganze Welt untergegangener Geschöpfe aus ihren Überresten wiederherstellte. Es war das eine unerläßliche Bedingung für die weitere Entwickelung der Geologie, welche seitdem von der Paläontologie die mächtigste Förderung erhalten hat. Allerdings machte sich als nächste Folge eine irrige Auffassung der Erdgeschichte geltend; Cuvier knüpfte an seine Forschungen eine weittragende Theorie über die Verteilung der Organismen in frühern Perioden, welche sich als vollständig verfehlt erwiesen hat. Es hatte sich gezeigt, daß verschiedene aufeinander folgende Schichtgruppen oder Formationen durch ihnen eigentümliche Fossilien ausgezeichnet sind, und Cuvier erkannte, daß die Unterschiede zwischen den einzelnen fossilen Faunen ebenso bedeutend seien wie diejenigen, welche die jüngsten unter ihnen von der jetzt lebenden trennen. Er folgerte daraus, daß jeder der großen Zeitabschnitte seine eigentümliche Tier- und Pflanzenwelt besessen habe, und daß am Schlusse eines jeden eine große Erdumwälzung, von weit gewaltigern Kräften als

die jetzt auf der Erde wirkenden veranlaßt, eingetreten sei, welche alle Lebewesen ausrottete und zerstörte und so für eine völlige Neuschöpfung Raum machte. Eine Reihe solcher Umwälzungen, Zerstörungen und Erneuerungen, schloß er weiter, fand in der Entwickelung der Erde statt, bis auf die letzte derselben das Auftreten des Menschen und der heutigen Lebewelt folgte.

Diese Theorie enthält die durchaus unrichtigen Annahmen von alles zerstörenden Umwälzungen, von plötzlichen Neuschöpfungen und von dem Wirken gewaltiger, heute nicht mehr wirksamer Agenzien bei denselben; man hat stellenweise Cuvier einen großen Vorwurf daraus gemacht oder wenigstens gemeint, eine solche Auffassung bei den großen Verdiensten des Mannes höchstens mit Nachsicht behandeln zu sollen. Uns scheint das nicht ganz richtig, wir sehen in dieser Hypothese ein direktes Verdienst; in jeder einzelnen Phase der Entwickelung einer Wissenschaft ist es notwendig, den momentanen Stand der Kenntnis zu einer Theorie zusammenzufassen, von der aus eine einheitliche Anschauung über die Gesamtheit der Erscheinungen möglich ist. Jede solche Theorie wird mit der Zeit überholt und mag in manchen Punkten sich als falsch erweisen, sie ist aber doch gut, wenn sie zur Zeit ihrer Aufstellung die Summe der bekannten Thatsachen umfaßt, mit keiner derselben in Widerspruch steht, frühern Auffassungen gegenüber einen Fortschritt bekundet und zu weiterer Forschung anregt. Von diesem Standpunkte aus muß Cuviers Theorie ganz entschieden anerkannt werden; der Fortschritt, den sie enthält, beruht darin, daß die Faunen und Floren der einzelnen aufeinander folgenden Schichtgruppen als die großen Etappen in der Entwickelung der Organismenwelt aufgefaßt und die universelle Bedeutung der geologisch-paläontologischen Untersuchung ausgesprochen wurde. Aus dieser Behandlung des Gegenstandes entsprang eine mächtige Anregung für weitere Arbeiten. Wenn späterhin jene Kataklysmentheorie direkt schädlich wirkte, so liegt die Schuld nicht an Cuvier, sondern an denjenigen, welche sie ins Extrem trieben und auch dann noch an ihr festhielten, als sie mit den Thatsachen in offenbaren Widerspruch geraten war. Übrigens gelangte dieselbe nie zu allgemeiner Annahme, und namentlich in England und Deutschland verhielt man sich ihr gegenüber ziemlich skeptisch.

Die Periode der geologischen Forschung nach Werner und nach den stratigraphischen Fortschritten von W. Smith erhält ihr Gepräge durch das Wirken eines großen Mannes, der mit Recht als der erste Geolog seiner Zeit bezeichnet wird, durch den bereits genannten Leopold v. Buch. Eine wahrhaft staunenswerte Vielseitigkeit, unübertroffener Scharfblick, sowohl Lagerungsverhältnissen als auch Fossilien gegenüber, und das lebhafteste, man kann sagen stürmische Interesse an allen wichtigen Fragen, wie es aus seinen Schriften überall hervorbricht, hatten zur Folge, daß in der Zeit, die nach ihm genannt wird, kaum eine große Leistung hervortreten mochte, an der er nicht irgendwie beteiligt gewesen wäre, sei es durch eigne Arbeit, sei es durch Rat und Anregung, durch Beleuchtung ihrer Bedeutung oder durch eine Kritik, die unter Umständen sehr energisch werden konnte. So brachte seine geniale Persönlichkeit der ganzen wissenschaftlichen Produktion auf unserm Gebiete einen lebhaften Schwung bei und wir sehen ihn als den leitenden Geist in der geologischen Sturm- und Drangperiode, welche durch ihre gewaltigen Fortschritte, ihre stets bedeutende, von jeder Kleinlichkeit entfernte Auffassung, aber auch durch ihre bedeutenden Irrtümer ausgezeichnet war. Der große Mann ist sehr verschieden beurteilt worden, von manchen mit unbedingtester Verehrung, von andern mit einer an Scheelsucht grenzenden Betonung seiner Verirrungen, die ja durchaus nicht geleugnet werden können. Dabei sind seine Person und seine Ansichten einem Teile der jetzt arbeitenden Generation und den heute auf der Tagesordnung stehenden Fragen noch so nahegerückt, daß ein vorurteilsfreies und richtiges Urteil wesentlich erschwert wird.

Leopold v. Buch wurde im Jahre 1774 zu Stolpe an der Oder (Ukermark) geboren; er studierte an der Freiberger Bergakademie unter Werner, später an der Universität in Halle und wandte sich dem praktischen Bergwesen zu, das er jedoch bald wieder verließ, um sich ganz der Geologie zu widmen und zunächst längere Reisen in die Alpen, nach Italien und Frankreich zu unternehmen. Eine Anzahl von Aufsätzen aus dieser Zeit sind von Bedeutung, aber doch war damals seine Thätigkeit vornehmlich einem innern Klärungsprozesse gewidmet. Buch hatte seine Laufbahn als eifriger Neptunist begonnen, für ihn war der Basalt das Produkt eines Absatzes aus dem Wasser gewesen; das Studium der italienischen Vulkane, der vulkanischen Gesteine der Auvergne in Frankreich machte ihn in dieser Auffassung wankend, bis er sich endlich von der Unrichtigkeit derselben völlig überzeugte und zur plutonistischen Richtung überging, deren Sieg dadurch entschieden wurde. Von da an war er der leitende Mann in allen großen geologischen Fragen seiner Zeit. Für die Wernersche Zeit, für die damalige Stufe der Geologie und deren Bedürfnisse konnte es als charakteristisch bezeichnet werden, daß der leitende Forscher nur der Vertiefung in die Verhältnisse des kleinen Erzgebirgsterrains, über das er nicht hinausgeblickt hatte, seine epochemachenden Fortschritte verdankte. Dieses Verhältnis war geändert, es kam nun darauf an, die in beschränkten Bezirken erworbenen Erfahrungen auszudehnen, verschiedene Gegenden miteinander zu vergleichen, vom Speziellen zum Allgemeinen vorzuschreiten, nicht nur, wie früher, in Hypothesen, sondern in der Beobachtung.



Der Pik von Teneriffa. In der Mitte der Krater mit Lavaströmen; der niedrigere Höhenzug zur Linken bildet den sogenannten Hebungskrater. Vgl. Text, S. 28.

Es ist nicht möglich, das Wirken Leopold v. Buchs vollständig darzustellen. In erster Linie verdankt man ihm die Neugestaltung der Lehre von den

Vulkanen, wozu ihm seine reichen Erfahrungen in einer Anzahl der wichtigsten Eruptivgebiete die Veranlassung gaben. Die Resultate sind in dem berühmten Werke über die Kanarischen Inseln niedergelegt. Bei dieser Neubegründung der Vulkanologie, die eine Reihe der fruchtbarsten Ideen enthält, sprach er auch die Ansicht aus, daß die Lava-, Tuff- und Konglomeratlager, welche man an den Vulkanen in aufgerichteter Stellung sieht, diese Anordnung durch die hebende Kraft der Ausbrüche erhalten hätten; so sollte z. B. der Monte Somma, der den Vesuv kreisförmig umgibt, von diesem gehoben worden sein und andres mehr (vgl. auch die Abbildung auf S. 27). Dadurch wurde dann weiter die Auffassung gegeben, daß bei Hebungen von Gebirgen vor allem vulkanische Kräfte thätig seien. Da man nun häufig in den Gebirgen Massengesteine hervortreten sah, während solche in andern Fällen nicht an der Oberfläche erscheinen, so wurde weiter gefolgert, daß in den letztern unterirdische, nicht zum vollen Durchbruche gelangte Eruptivmassen vorhanden wären. Hand in Hand mit diesen Erklärungsversuchen gingen die wichtigen Forschungen über die Hauptrichtungen der Gebirgssysteme in Deutschland, von denen Buch nachwies, daß sie sich im wesentlichen auf vier Direktionen zurückführen lassen. Ferner hatte er bei seinen Reisen in Skandinavien den an den dortigen Küsten nachweisbaren Schwankungen des Meeresspiegels seine Aufmerksamkeit gewidmet und daraus, wie schon früher Playfair, den Schluß gezogen, daß säkulare Hebungen und Senkungen der Kontinente vor sich gehen.

In manchen dieser Punkte haben sich die Voraussetzungen L. v. Buchs nicht bestätigt; gegen die Annahme der „Hebungskrater" traten namentlich Poulett Scrope und Lyell in England und Friedrich Hofmann in Deutschland auf, indem sie zeigten, daß die Vulkankegel sich in der Regel lediglich durch Aufschüttung von Lava und losen Materialien unter einem natürlichen Böschungswinkel bilden. Ebenso wird jetzt wohl allgemein anerkannt, daß vulkanische Kräfte bei der Aufrichtung der Gebirge durchaus unbeteiligt sind; selbst die säkularen Hebungen sind nicht über alle Anfechtung erhaben. Trotzdem liegt in der Aufstellung dieser Theorie ein geradezu unberechenbarer Fortschritt. Die Lehre vom Baue und der Entstehung der Gebirge war hier mit einemmal gegeben und von großen Gesichtspunkten aus aufgefaßt, die Bedeutung der Hauptrichtungen dargelegt und der Weg betreten, welcher zur Lösung der Frage führen mußte.

Eine andre Reihe von Untersuchungen betraf den Dolomit. Dolomit war wohl schon seit längerer Zeit bekannt, aber sein Vorkommen in gewaltigen Massen als gebirgsbildende Felsart früher übersehen worden, da man ihn in der Regel mit Kalkstein verwechselt hatte. Buch zeigte nun zuerst, daß im ganzen Bereiche der Alpen, ferner in Franken, Thüringen und vielen andern Gegenden mächtige Dolomitmassen auftreten. Gleichzeitig entging es seinem durchdringenden Scharfblicke nicht, daß dieses Gestein sowohl in der Lagerung als in der Zusammensetzung Eigentümlichkeiten zeigt, welche gegen die Auffassung sprechen, daß es sich normal, ähnlich wie der Kalkstein, abgelagert habe. Da nun in den Dolomitterritorien Südtirols vielfach große Eruptivmassen von Augitporphyr auftreten, so sprach Leopold v. Buch die Ansicht aus, daß bei den Porphyrbrüchen Magnesiadämpfe dem Erdinnern entströmt wären, welche gewöhnlichen Kalkstein in Dolomit verwandelt hätten. Allerdings hat sich diese Erklärung nicht als haltbar erwiesen, aber es ist auch bis jetzt nicht gelungen, eine bessere mit voller Sicherheit an ihre Stelle zu setzen.

Mit nicht geringerm Erfolge war L. v. Buch in der stratigraphischen Geologie thätig. Aus den von W. Smith, Brongniart und Cuvier gegebenen Anfängen hat sich dieser Zweig der Geologie ungemein rasch entwickelt; die Reihe der aufeinander folgenden Formationen erweiterte sich namentlich durch die Untersuchungen von Sedgwick und Murchison, welche sich mit dem Studium der ältesten fossilführenden Ablagerungen beschäftigten. Anderseits wurde durch Vergleich der Ablagerungen aus verschiedenen Gegenden die große

Verbreitung der einzelnen Formationen nachgewiesen und die einander entsprechenden Ablagerungen entfernter Länder miteinander in Parallele gebracht. Auch auf diesem Gebiete war L. v. Buch einer der erfolgreichsten Arbeiter, und eine Anzahl wichtiger Aufsätze, z. B. der über den Jura in Deutschland, zeigt, daß er hier wie in andern Zweigen der Geologie seinen Zeitgenossen voranging. Ebenso war er auf paläontologischem Gebiete in einer Weise thätig, die ihn zu einem der ersten Forscher in dieser Richtung macht; rechnen wir dazu, daß man ihm die erste geologische Karte von Deutschland verdankt, und daß er außerdem eine Reihe meteorologischer, pflanzengeographischer und andrer Aufsätze veröffentlicht hat, so gewinnen wir selbst durch diese flüchtige Übersicht die Vorstellung von einem Reichtume wissenschaftlicher Thätigkeit, wie er nur wenigen Menschen vergönnt gewesen ist.

Niemand wird leugnen, daß neben den außerordentlichen Verdiensten Buchs eine Reihe bedeutender Irrtümer herläuft; wer aber daraus einen Vorwurf für den Forscher macht, der hat gar keinen Begriff davon, was es heißt, in einer Zeit stürmisch rascher Weiterentwickelung als Bahnbrecher den Zeitgenossen voranzugehen, der muß diese ganze Periode glänzendsten Aufschwunges der Geologie, die durch L. v. Buch als ihren ersten Vertreter charakterisiert wird, überhaupt verdammen.

Man kann nicht von L. v. Buch sprechen, ohne sofort an seinen treuen Freund und Studiengenossen Alexander v. Humboldt erinnert zu werden, den großen Reisenden und bedeutenden Forscher, dem es möglich war, das naturhistorische Wissen seiner Zeit ganz zu umspannen und in klassischer Form zur zusammenfassenden Darstellung zu bringen. Dabei konnte er sich natürlich nicht mit der Geologie besonders eingehend als selbständiger Arbeiter beschäftigen, und seine Bedeutung auf diesem Gebiete ist deshalb auch weit geringer als diejenige L. v. Buchs. Trotzdem haben Humboldts Forschungen in Amerika und in Sibirien auch diesen Zweig mächtig gefördert, und wir verdanken ihm eine Reihe wichtiger und anregender Ideen.

Wie bereits erwähnt, hatte Leopold v. Buch darauf hingewiesen, daß in den Gebirgen Deutschlands vier Hauptrichtungen auftreten; dies gab die Anregung zur Aufstellung einer Theorie der Gebirgsbildung durch den bekannten Geologen Elie de Beaumont, welche eine Zeitlang großes Aufsehen erregte. Beaumont, vor allem durch die mit Dufrenoy gemeinsam unternommene Bearbeitung der geologischen Karte von Frankreich hochverdient, bildete die Ideen Buchs in einer Weise weiter aus, die zwar in gewisser Hinsicht sehr fruchtbringend war, in andrer Beziehung aber zu den schwersten Verirrungen führte. Wie sein Vorgänger für Deutschland, so suchte er, soweit die Daten reichten, für die ganze Erde die Richtungen der Gebirgssysteme und ihrer einzelnen Ketten festzustellen. Indem er dies that und dabei großes thatsächliches Material verarbeitete, viele neue Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten erkannte, erwarb sich Beaumont ein unbestreitbares Verdienst; es war eine bedeutende Erweiterung der Buchschen Ideen, die man ihm zu verdanken hatte. Ein wesentlicher Fortschritt war es schon, daß nun zum erstenmal und vielfach mit Erfolg der Versuch gemacht wurde, die Zeit zu bestimmen, in welcher die Aufrichtung der Gebirge erfolgt ist. Die hierbei angewandte Methode ist sehr einfach und klar: man sucht im Gebirge das Alter der jüngsten Schicht zu bestimmen, die noch von der Aufrichtung betroffen worden ist, während man anderseits das geologische Alter der ältesten Ablagerung feststellt, welche ohne Störung am Fuße desselben liegt; die Aufrichtung muß natürlich in der Zwischenzeit zwischen der Ablagerung dieser zwei Horizonte vor sich gegangen sein. Diese Methode ist eine durchaus richtige und ihre Einführung von größtem Nutzen gewesen. Allein schon die erste Folgerung, die Beaumont daraus zog, war nicht genau richtig; es ist gar kein Grund zu der Annahme vorhanden, daß die Gebirge sich mit einem Rucke bilden. Wir erhalten also durch die angegebene Zeitbestimmung nicht das Datum der Aufrichtung

überhaupt, sondern nur das der letzten Aufrichtungsbewegung, die in einem Gebirge stattgefunden hat.

Auf diese Ideen gründete jedoch Beaumont ein weiteres Gebäude von Theorien, die man wohl als eine schwere Verirrung bezeichnen muß. Für ihn galten alle parallelen Gebirgsketten als gleichzeitig gebildet, und er nahm an, daß alle diese Linien in streng mathematischer Gesetzmäßigkeit, den Kanten einer Kristallfigur entsprechend, verlaufen. Dazu gesellte sich, daß er, wenigstens anfangs, jedes Gebirge durch einen einzigen plötzlichen Aufrichtungsakt entstanden dachte und in diesen Vorgängen die Katastrophen sah, welche im Sinne von Cuvier am Schlusse jeder geologischen Formation die ganze Tier- und Pflanzenwelt vernichten sollten. Lange Zeit hindurch erfreute sich seine Theorie namentlich in Frankreich großen Ansehens; heute darf sie wohl als endgültig überwunden betrachtet werden, wenn sie auch unter den Schülern Beaumonts noch einzelne Anhänger zählen mag.

Eine wesentlich neue Richtung erhielt die Forschung durch die genaue Untersuchung derjenigen geologischen Vorgänge und Veränderungen, welche heute unter unsern Augen auf der Erde vor sich gehen. Wohl war schon vieles dafür geschehen, namentlich was Vulkane betrifft; aber ein konsequentes und systematisches Studium dieser Dinge beginnt erst mit Hoff und Lyell. Hoff gab ein ausführliches und sehr wertvolles Werk heraus, in dessen erstem Bande wir einen der wichtigsten Fundamentalsätze der neuern Geologie zuerst aufgestellt finden, nämlich daß die Vorgänge und Kräfte, welche wir jetzt beobachten können, auch alle die Vorgänge und Veränderungen früherer Perioden zuwege gebracht haben. Noch entschiedener ist dies in Lyells berühmten „Principles of geology" ausgesprochen, einem Buche, das namentlich durch die größere Menge eigner Beobachtungen in den verschiedensten Gegenden dasjenige von Hoff überragt und auf die Entwickelung der Geologie einen überaus großen Einfluß ausgeübt hat.

Um die Bedeutung dieses Fortschrittes klar zu erkennen, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß man bis dahin einen sehr ausgiebigen Gebrauch von der Annahme großartiger Katastrophen, des Ausbruches verborgener Kräfte &c., gemacht hatte, wobei selbst eine andre Art der Wirksamkeit chemischer und physikalischer Gesetze als die jetzt herrschende für denkbar gehalten und bisweilen in Anspruch genommen wurde. Beruhten doch z. B. die ganze Kataklysmentheorie von Cuvier und das System von Beaumont auf solchen Annahmen. Erst durch obige Arbeiten brach sich eine andre Auffassung, wonach eine ruhige und allmähliche Entwickelung vorausgesetzt wird, Bahn, und diese ist noch heute die allgemein angenommene; man spricht daher mit vollem Rechte von der Hoff-Lyellschen Richtung oder, der größern Bedeutung des letztern angemessen, auch nur von der Lyellschen Richtung, in der sich jetzt die Geologie bewegt. Indessen darf nicht verschwiegen werden, daß auch Lyell in den Konsequenzen seiner Auffassung zu weit gegangen ist. Daß die Erde ursprünglich in einem heißflüssigen Zustande gewesen, daß sie dann allmählich erstarrt ist und sich im Stadium fortwährender Abkühlung befindet, wird kaum mehr geleugnet werden können; es finden also doch Änderungen in der Intensität der wirkenden Kräfte statt, und die ganz konsequente Durchführung von Lyells Uniformismus führt demnach ebenfalls zu unrichtiger Auffassung.

Von besonderer Wichtigkeit sind unter den jetzigen Veränderungen die Wirkungen der Gletscher geworden, deren genaue Beobachtung zu dem Resultate geführt hat, daß in der Periode, welche der Jetztzeit unmittelbar voranging, in der sogenannten Eiszeit, ein kälteres Klima als jetzt herrschte und ein großer Teil von Europa vergletschert war, eine Thatsache, um deren Feststellung sich namentlich Charpentier, Agassiz, Schimper, Venetz und andre verdient gemacht haben, und die für das Verständnis der Verbreitung der Organismen in der Jetztwelt von großer Bedeutung ist.

In ähnlicher Weise wie die Beobachtung der jetzt thätigen Veränderungen wirkte die Thätigkeit der „chemischen und physikalischen Geologie", die durch Experimente im Laboratorium die Möglichkeit der in der Natur als wirksam gedachten Vorgänge untersucht und die einzelnen Vorkommnisse künstlich nachzubilden bemüht ist. Der bahnbrechende Vertreter dieser Richtung, welche für sich dieselbe Wichtigkeit wie die Lyellsche beanspruchen darf, war Gustav Bischoff in Bonn, dessen Arbeiten einen Wendepunkt in der Auffassung einer ganzen Reihe der wichtigsten Verhältnisse hervorriefen, wenn auch seine stellenweise ultraneptunistischen Ansichten sich durchaus nicht alle bestätigt haben.

Wir schließen damit den historischen Überblick über die Geologie. Als wichtigste Resultate der spätern Zeit sind noch zu bezeichnen: die Einführung geologischer Kartenaufnahmen in allen zivilisierten Ländern, die Entwickelung der Alpengeologie, in der namentlich Escher von der Linth und Studer bahnbrechend wirkten, die Ausdehnung der Studien über fast alle Länder der Erde, die schärfere Auffassung der Stratigraphie und der Aufschwung der Gesteinslehre durch die mikroskopischen Untersuchungsmethoden.

Grundbegriffe der Geologie.

Bäche und Flüsse führen bekanntlich feste Teile, Thon, Sand rc., und lagern diese am Grunde des Meeres oder von Binnenseen ab; dadurch bilden sich Gesteine, welche, der Art ihrer allmählichen Absetzung auf ebenem Grunde entsprechend, in horizontale Schichten abgeteilt sind. Auf diese Weise entstehen Sandsteine, Thone, Thonschiefer, Mergel, Kalke und die Kohlengesteine, die alle samt ihren mannigfachen Verwandten dieser ihrer Entstehungsart und Ausbildung nach als Absatzgesteine, Sedimentärgesteine, Flözgesteine, Schichtgesteine bezeichnet werden. Von solchen aufeinander liegenden Schichten muß natürlich die tiefste die zuerst gebildete, die älteste sein, während die darüberliegenden sich als immer jünger und jünger erweisen.

Denken wir uns nun ein Stück alten Meeresbodens mit all seinen Sedimenten durch irgend einen Vorgang, mag es eine Hebung des Festlandes oder ein Sinken des Wassers sein, aus dem Meere emporgetaucht, so werden Regen, Frost, rinnende Gewässer und ähnliche Einflüsse beginnen, an der Abnagung des Materiales zu arbeiten; nehmen wir ferner an, daß ein Bach oder Fluß sich in diese dem Meere entstiegenen Absätze sein Bett eingeschnitten habe, so wird sich uns an den Rändern dieser Schlucht ein Durchschnitt durch eine Reihe übereinander lagernder Schichten zeigen, von denen wiederum die tiefste am ältesten, die höchste am jüngsten sein muß.

Untersucht man nun an einem derartigen Aufschlusse, welcher z. B. marine Ablagerungen entblößt, mit einiger Aufmerksamkeit das Gestein, so findet man sehr oft bald in größerer, bald in geringerer Menge die versteinerten Überreste von Tieren oder Pflanzen, welche zur Zeit der Bildung der Ablagerungen lebten und von diesen umschlossen wurden; das Alter der Versteinerung und dasjenige der Schicht, aus welcher sie stammt, ist dasselbe, und da sich nach der Lagerung der Schichten deren Aufeinanderfolge und Alter feststellen läßt, so kann man natürlich das Resultat auch auf die Versteinerungen übertragen, indem diejenigen der tiefern Bänke aus einer frühern Zeit stammen als diejenigen der höhern.

So einfach diese Sache erscheint, so sehen wir in ihr doch ein Verhältnis von allergrößter Tragweite, denn sie gibt uns die Mittel an die Hand, die Aufeinanderfolge der Lebewesen auf der Erde festzustellen und von einer einfachen Beschreibung vereinzelter Versteinerungen zur historischen Darstellung der Entwickelung der Organismenwelt vorzuschreiten.

Die Grundlage jeder Forschung in dieser Hinsicht ist eine streng systematisches Sammeln der Versteinerungen nach einzelnen Schichten und ein Verzeichnen der Reihenfolge, in welcher diese aufeinander liegen. Vergleicht man dann das Material an gesammelten Fossilien, so ergibt sich etwa in einem Falle, daß mehrere unmittelbar aufeinander folgende Schichten genau dieselben Arten fossiler Tiere oder Pflanzen enthalten, woraus der Schluß zu ziehen ist, daß innerhalb der Zeit, welche jene zu ihrer Bildung in Anspruch nahmen, die Organismenwelt keine beträchtlichen Änderungen erlitten hat. Im entgegengesetzten Falle, wenn eine höhere Schichtgruppe andre Versteinerungen als die tiefern Ablagerungen führt, wird man daraus eine in der Zwischenzeit eingetretene Änderung in der Bevölkerung



Horizontal gelagerte Schichten, durch einen Bach aufgeschlossen.

folgern müssen, von der sich allerdings nicht sofort entscheiden läßt, ob sie durch örtliche Verhältnisse bedingt war oder mit einer allgemeinen Umgestaltung der Tier- und Pflanzenwelt im Zusammenhange gestanden hat.

Um über die Bedeutung dieser Thatsachen Klarheit zu erlangen, ist man gezwungen, derartige Untersuchungen an möglichst zahlreichen Punkten vorzunehmen und über ein möglichst ausgedehntes Gebiet der Erdoberfläche zu erstrecken. Eine solche Erweiterung der Erfahrungen hat gezeigt, daß die Art und Weise, wie die Organismenreste in den Schichten verteilt sind, durchaus nicht zufällig, sondern streng gesetzmäßig ist; die verschiedenen Tierformen pflegen in ganz bestimmten Schichten zu liegen, und in der großen Mehrzahl der Fälle kehrt eine ganz bestimmte Reihenfolge, in welcher sie nacheinander auftreten, in sehr verschiedenen Gegenden wieder.

Denken wir uns in eins der klassischen Gebiete der fossilführenden Gesteine versetzt, etwa an den Fuß der Schwäbischen Alb, wo eine Reihe von versteinerungsreichen Mergeln,

Thonen, Kalken in äußerst regelmäßiger Aufeinanderfolge auftritt. Wir finden hier z. B. eine Mergellage mit zahlreichen fossilen Ammonitengehäusen, die als Ammonites radians und jurensis beschrieben worden sind; unter diesen Mergeln liegen bituminöse Schiefer mit andern Arten derselben Gattung, mit Ammonites communis, heterophyllus und lythensis; darunter folgt eine Kalkbank mit Ammonites spinatus, dann mächtige Thone mit Ammonites margaritatus, und so läßt sich eine ganze Reihe solcher Schichtkomplexe verfolgen, die überall in derselben Reihenfolge und mit denselben Arten auftreten, ob wir im Osten oder im Westen des Landes die Untersuchungen anstellen; allein selbst wenn wir in Norddeutschland, in Frankreich, in England die entsprechenden Ablagerungen aufsuchen, so tritt uns dieselbe Vergesellschaftung von Tierarten in der gleichen Reihenfolge entgegen, und vielfach ist es sogar gelungen, in fremden Weltteilen, in Indien, Amerika rc., dieselben Verhältnisse nachzuweisen, die in Europa beobachtet worden sind.

Es geht aus alledem hervor, daß wenigstens ein großer Teil der Unterschiede, die wir in einem Durchschnitte zwischen zwei Schichten konstatieren, nicht auf örtlichen Änderungen, sondern auf allgemeinen Umgestaltungen der Lebewelt beruht. Ferner ergibt sich daraus die Möglichkeit, Schichten aus entfernten Gegenden, welche die gleichen Versteinerungen enthalten, als derselben Periode angehörig, als gleichalterig, zu erklären, und wie wir ursprünglich aus der Lagerung der Schichten in einem und demselben Profil das Altersverhältnis der Versteinerungen zu bestimmen im stande waren, so geben uns nun diese wieder die Mittel an die Hand, die Schichten weit auseinander liegender Gegenden dem Alter nach miteinander zu vergleichen.

An keinem Punkte der Erde hat man bis jetzt Schichten aus allen verschiedenen geologischen Perioden gut entwickelt und mit zahlreichen Fossilien ausgestattet vereinigt gefunden. Da wir aber mit Hilfe der Versteinerungen die Schichten entfernt voneinander gelegener Länder zu vergleichen und ihr Alter zu bestimmen im stande sind, so ist es auf diese Weise gelungen, eine ideale Reihenfolge aller Ablagerungen und der in ihnen enthaltenen Organismen festzustellen, die eine ziemliche Vollständigkeit aufzuweisen hat. Man konnte eine chronologische Tabelle entwerfen, in welche sich jedes einzelne Vorkommnis einreihen läßt.

Die großen Hauptabteilungen bezeichnet man in der Regel als Perioden, diese zerfallen in Formationen, letztere wieder in Stufen, Stockwerke, Gruppen oder Etagen, welche dann weiter nach verschiedenen Prinzipien in Unterabteilungen gebracht werden.

Da die chronologischen Abschnitte zu den geologischen Begriffen gehören, welche jeden Augenblick genannt werden, so müssen wir uns wenigstens oberflächlich mit denselben bekannt machen. Die Reihenfolge der Perioden und Formationen ist hier in der Weise mitgeteilt, daß die jüngsten zu oberst, die ältesten zu unterst genannt sind[1].

[1] Ursprung und Bedeutung der hier angewandten Namen sind folgende:
känozoisch, vom griechischen καινός (kainós), neu, und ζῶον (zṓon), Lebewesen;
mesozoisch, von μέσος (mésos), mittel, und ζῶον;
paläozoisch, von παλαιός (palaiós), alt, und ζῶον;
archäisch, von ἀρχαῖος (archaios), alt oder anfänglich.

Quartärformation, vom lateinischen quartus, der vierte, weil nach älterer Auffassung diese Abteilung die vierte unter den großen Hauptperioden der Erdgeschichte darstellte; Diluvium, Sintflut, weil man früher die Sintflut in diesen Zeitraum verlegen zu können glaubte.

Tertiärformation, vom lateinischen tertius, der dritte, weil man diese Formation als den dritten Hauptabschnitt der Erdgeschichte betrachtete.

Kreideformation, nach dem Vorkommen der weißen Schreibkreide, welche in vielen Gegenden im obern Teile dieser Formation auftritt.

Juraformation, nach dem Juragebirge.

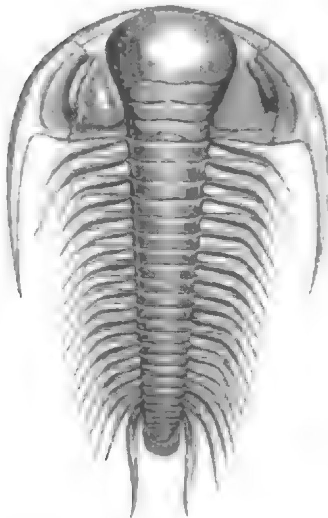
IV. Känozoische Periode:	III. Mesozoische Periode:	II. Paläozoische Periode:	I. Archäische Periode.
11) Jetztzeit.	8) Kreideformation.	5) Permformation (Dyas).	
10) Quartärformation oder Diluvium.	7) Juraformation.	4) Kohlenformation.	
9) Tertiärformation.	6) Triasformation.	3) Devonformation.	
		2) Silurformation.	
		1) Kambrische Formation.	

I. Archäische Periode.

Der archäischen Periode gehören jene Massen von Gneiß, Glimmerschiefer, Phylliten ꝛc., jene kristallinischen Schiefer an, die in Verbindung mit Marmor und Quarzit in ungeheurer Verbreitung unter den ältesten fossilführenden Gesteinen der kambrischen Formation liegen und bis jetzt noch keine sicher deutbaren Versteinerungen von Tieren und Pflanzen geliefert haben.

II. Paläozoische Periode.

1) Kambrische Formation. In vielen Gegenden verlieren die jüngsten und höchsten Ablagerungen der archäischen Periode allmählich ihren kristallinischen Charakter, und es treten Übergänge von diesen zu normalen, nicht kristallinischen Schichtgesteinen auf. In diesen Gebilden finden sich auch hier und da vereinzelte dürftige und sehr schlecht erhaltene Reste von Organismen; wir erreichen damit die kambrische Formation, deren untere Hälfte sehr wenig Versteinerungen liefert, während ihre höhern Abteilungen stellenweise eine immerhin noch ziemlich artenarme, aber individuenreiche Fauna enthalten, in welcher Repräsentanten der eigentümlichen, längst ausgestorbenen Krebsordnung der Trilobiten weitaus vorherrschen (vgl. Paradoxides bohemicus, nebenstehend).



Paradoxides bohemicus
½ natürl. Größe.

2) Die Silurformation, welche in besonders ausgezeichneter Entwickelung in Böhmen, England, Skandinavien, Rußland und Nordamerika auftritt, aber auch außerdem sehr verbreitet vorkommt, zeigt zuerst sehr reiche Entfaltung tierischen Lebens. Von den niedrigsten Organismen, den Protozoen, sind die zierlichen Kieselgerüste der Radiolarien nachgewiesen, und auch Foraminiferen treten an einigen Punkten auf. Wenden wir uns höhern Tierabteilungen zu, so finden sich die Glasschwämme schon in ziemlicher Mannigfaltigkeit; außerordentlich reiche Entwickelung zeigen die Korallen, welche durch die Tetrakorallien oder Rugosen (vgl. Omphyma subturbinatum, S. 35) und die Tabulaten (vgl. Favosites, S. 36) vertreten sind. Derselben großen Abteilung des Tierreiches, wie Schwämme und Korallen, gehört vielleicht auch die eigentümliche und fast ganz auf das Silur beschränkte Gruppe der Graptolithen an (vgl. Graptolithes, S. 36).

Triasformation, von tres, drei, weil diese Formation in vielen Gegenden aus drei scharf geschiedenen Gliedern besteht.

Permformation, nach dem russischen Gouvernement Perm.

Kohlenformation, als Trägerin der Hauptmasse der Steinkohlen.

Devonformation, nach der Grafschaft Devonshire in England.

Silurformation, nach den Silurern, einer keltischen Völkerschaft im heutigen Wales, die den Römern bei ihrer Unterwerfung Britanniens kräftigen Widerstand leistete; die Silurformation ist gerade in den ehemaligen Wohnsitzen dieses Stammes sehr entwickelt.

Kambrische Formation, nach dem Kambrischen Gebirge in Wales.





Omphyma subturbinatum. a Von der Seite, b durchgeschnitten. Vgl. Text, S. 34.



Conularia (nach Barrande). a Von oben, b von der Seite. Vgl. Text, S. 36.

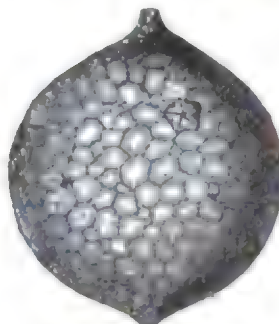




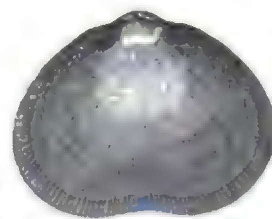
Orthoceras Neptuneum (nach Barrande). a Exemplar mit teilweise erhaltener Schale und abgebrochener Spitze; b Längsschnitt, welcher die Kammern im Innern zeigt; c Querschnitt. Vgl. Text, S. 36.



Dalmanites socialis (nach Barrande). Vgl. Text, S. 36.

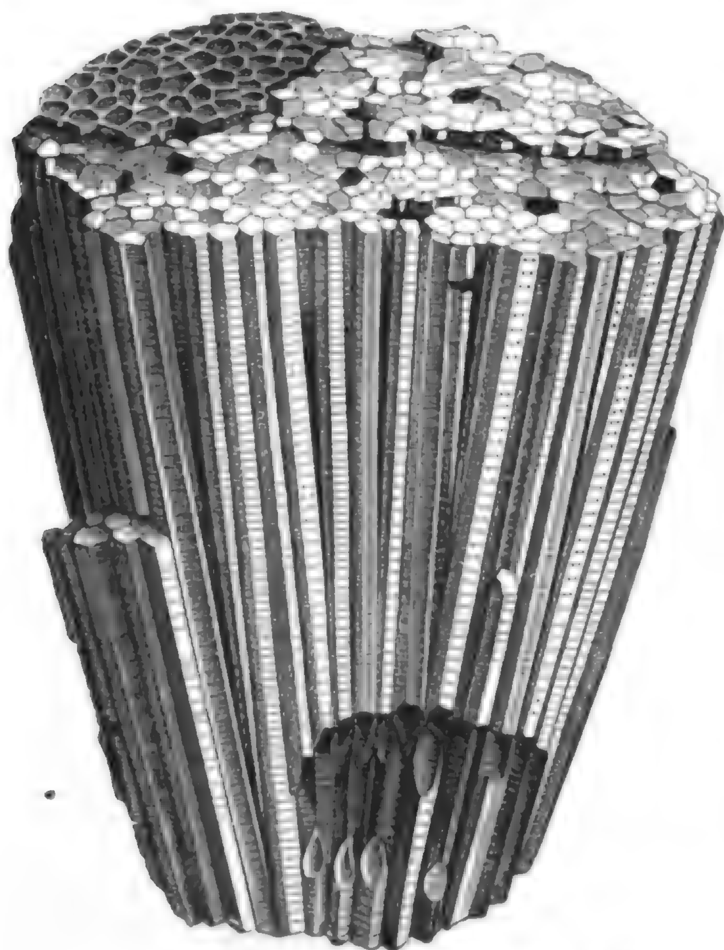


Echinosphaerites. Vgl. Text, S. 36.



Orthis hybrida. Vgl. Text, S. 36.

Von den Stachelhäutern oder Echinodermen finden sich Seesterne und Seeigel nur in geringer Anzahl, während die Cystideen (vgl. Echinosphaerites, S. 35) fast ganz auf das Silur beschränkt sind und die Krinoiden oder Seelilien außerordentlichen Formenreichtum entwickeln. Bryozoen sind vorhanden, doch ohne hervorragende Bedeutung, wogegen die große Abteilung der Brachiopoden den Höhepunkt ihrer Entwickelung erreicht (vgl. Orthis hybrida, S. 35). Muscheln und Schnecken zeigen sich ebenfalls in großer Menge, und zu ihnen gesellt sich die vermutlich mit den Schnecken verwandte, vollständig ausgestorbene Familie der Konulariden (vgl. Conularia, S. 35). Die hoch organisierte Klasse



Favosites (nach Goldfuß). Vgl. Text, S. 34.



Graptolithes. a und b Verschiedene Erhaltungszustände. Vgl. Text, S. 34.

der Weichtiere oder Mollusken, die Cephalopoden, ist fast ausschließlich durch die formenreiche Abteilung der Nautiliden vertreten (vgl. Orthoceras Neptuneum, S. 35). Unter den Krustaceen oder Krebstieren haben die Trilobiten eine bedeutend größere Artenzahl aufzuweisen als in den kambrischen Bildungen; allein da die ganze Fauna sehr viel reicher geworden ist, so spielen sie nicht mehr wie damals die erste Rolle, sondern sind von andern Abteilungen des Tierreiches bedeutend überflügelt worden (vgl. Dalmanites socialis, S. 35).

Wirbeltiere sind noch kaum zu finden, nur wenige Fische erscheinen in den höchsten Teilen der Formation. Von Pflanzen sind verschiedene marine Gewächse, namentlich Algen und Diatomeen, bekannt; das Vorkommen von Landpflanzen ist sehr beschränkt.

3) Die Devonformation finden wir in typischer Entwickelung in den Rheinlanden; außerdem ist sie in ganz Europa sehr verbreitet. Von außereuropäischen Ländern ist in erster Linie Nordamerika zu nennen, wo die Formation das Maximum ihrer Entfaltung zu erreichen scheint.

Die Bevölkerung ist derjenigen des Silur nahe verwandt, nur die Graptolithen und

Cystideen sind fast vollständig verschwunden. Unter den reichlich entwickelten Korallen ist als ein sehr charakteristischer Typus die Calceola sandalina (vgl. Abbildung, S. 38) hervorzuheben. Die Krinoiden sind auch im Devon in außerordentlicher Menge vorhanden (vgl. Lecithocrinus Eifelianus, S. 38) und ebenso die Brachiopoden (vgl. Stringocephalus Burtini, unten). Unter den Cephalopoden sind die Nautiliden viel schwächer vertreten als im Silur, während die Ammonitiden nun zum erstenmal kräftig hervortreten (vgl. Goniatites intumescens, unten).



Pterygotus, verkleinert; die einzelne Schere a in natürl. Größe (nach Woodward).



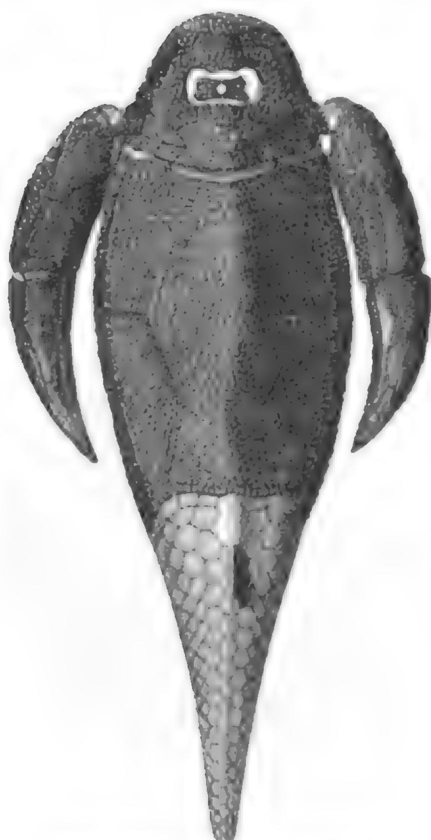
Stringocephalus Burtini.

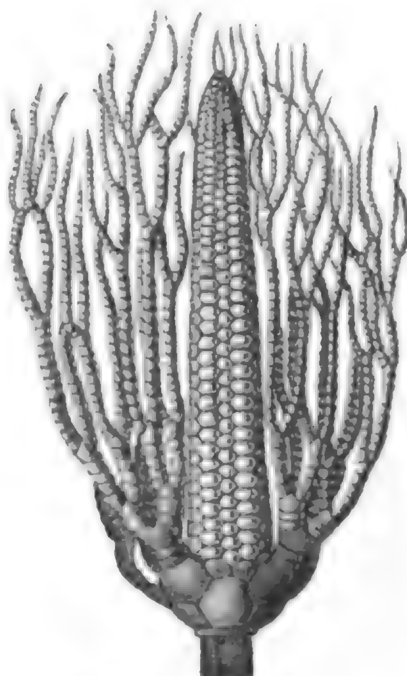


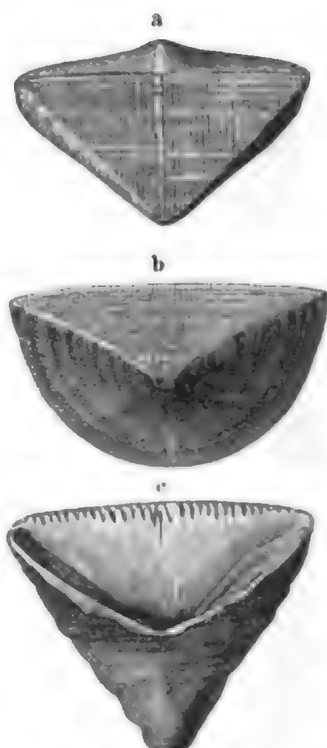
Goniatites intumescens (nach Sandberger).

Unter den Krustaceen macht sich eine außerordentlich starke Abnahme der Trilobiten bemerkbar, dagegen finden wir die vollste Entfaltung der merkwürdigen Eurypteriden, die unter allen Krustern der Vor- und Jetztzeit die gewaltigsten Dimensionen erreicht zu haben scheinen (vgl. Pterygotus, oben). Fische finden sich in großer Artenzahl namentlich in jenen Ablagerungen von Rußland, England und Nordamerika, die als alter roter Sandstein bezeichnet werden. Hervorragende Bedeutung haben besonders Panzerfische von höchst seltsamem Baue (vgl. Pterichthys, S. 38) und schmelzschuppige Ganoiden, ferner haifischähnliche Formen.

Neben diesen Typen, die dem Wasser angehören, begegnen uns hier zum erstenmal


Pterichthys, etwas verkleinert (nach Pander). Vgl. Text, S. 37.

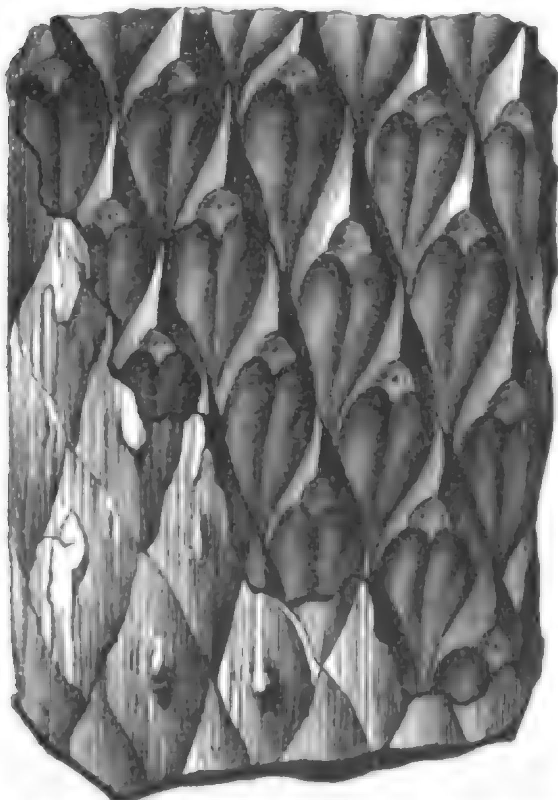

Lecithocrinus Eifelianus (nach Schulze). Vgl. Text, S. 37.



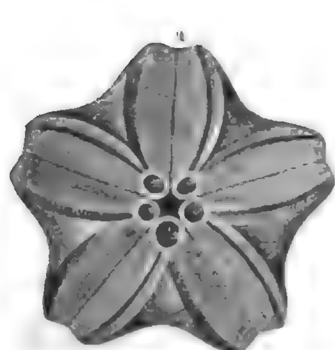
Calceola sandalina (nach Kunth). a Exemplar mit Deckel von der Seite, b von unten; c Exemplar ohne Deckel. Vgl. Text, S. 37.

Bewohner des festen Landes in etwas größerer Zahl; verschiedene Landpflanzen, einzelne Insekten, vielleicht auch einige Landschnecken geben uns Kunde von dem organischen Leben auf dem Trocknen.

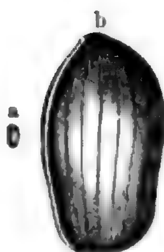
4) Die Kohlenformation zeigt uns dann kontinentales Leben in reichster Entfaltung. Die Steinkohlenflöze und die sie umschließenden Gesteine haben eine reiche Flora geliefert, in welcher namentlich Schachtelhalme, Baumfarne, die den Bärlapp-Pflanzen oder Lykopodiaceen verwandten Lepidodendren und Sigillarien (vgl. **Lepidodendron Sternbergi**, nebenstehend), endlich Nadelhölzer von großer Bedeutung sind; mit ihnen erscheinen mehrfach Vertreter von Landschnecken, ferner Tausendfüße, Skorpione, Spinnen und zahlreiche Insekten.


Lepidodendron Sternbergi. Teilweise berindetes Stammstück (nach F. Römer).

Bei den niedern Tieren des Meeres finden wir wieder nahe Verwandtschaft mit jenen des Devon, wenn auch einzelne Abweichungen wichtig sind. Die Foraminiferen stellen sich zum erstenmal in bedeutender Zahl ein (vgl. **Fusulina cylindrica**, S. 39); unter den Echinodermen erreichen die Blastoiden ihre höchste Entwickelung (vgl. **Pentatrematites**, S. 39), und die Seeigel treten etwas mehr hervor. Dagegen läßt sich im ganzen Bereiche der Molluskenbevölkerung keine hervorragende Abweichung nennen; nur sind die Konulariden




Pentatrematites, etwas vergrößert (nach F. Römer).
a Von oben, b von der Seite. Vgl. Text, S. 38.

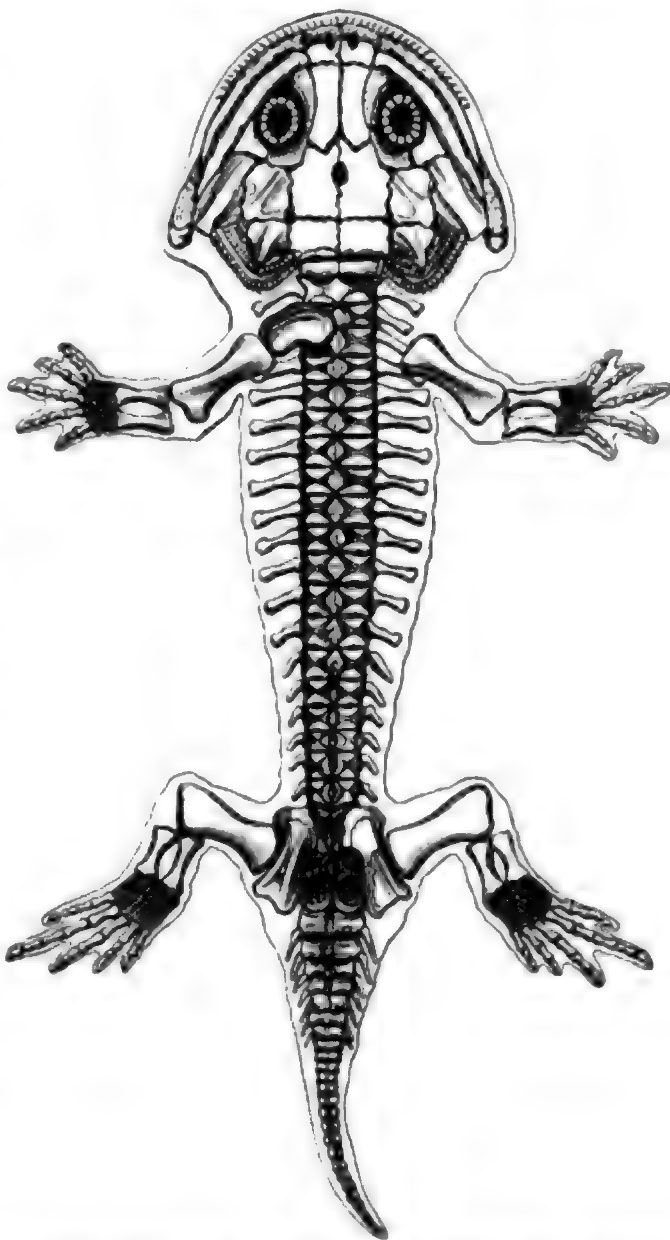


Fusulina cylindrica.
a Natürl. Größe, b stark vergrößert (nach Möller).
Vgl. Text, S. 38.

bedeutend beschränkt und auch die Nautiliden in geringerer Menge als früher vorhanden; unter den Brachiopoden ist namentlich die Gattung Productus von Bedeutung. Bei den Krustaceen sind die Eurypteriden stark vermindert, die Trilobiten auf schwache Reste reduziert, während die ersten Repräsentanten der hoch organisierten Schalenkrebse sich einstellen.

Im Bereiche der Wirbeltiere machen sich wichtige Unterschiede geltend. Unter den Fischen sind die Panzerfische nur noch schwach vertreten; dagegen stoßen wir auf höhere Typen, indem eine Anzahl von Amphibien aus der ausgestorbenen Abteilung der Stegocephalen oder Labyrinthodonten auftreten.

5) Die Permformation, in Deutschland meist durch die porphyrischen Sandsteine und Konglomerate des Rotliegenden und den allerdings in vielen Gegenden fehlenden marinen Zechstein repräsentiert, hat bis jetzt im Vergleiche zu den frühern Bildungen eine überaus ärmliche Fauna geliefert, und speziell sind die marinen Erscheinungen äußerst dürftig. Im großen und ganzen kann man das, was wir kennen, als einen verarmten Rest der Fauna der Kohlenformation bezeichnen, zu dem nur vereinzelt neue Typen hinzutreten. Von Bedeutung sind lediglich die Fische, die äußerst mannigfaltigen Stegocephalen (vgl. die nebenstehende Abbildung von Branchiosaurus) mancher Lokalitäten sowie das erste sichere Erscheinen von Reptilien.



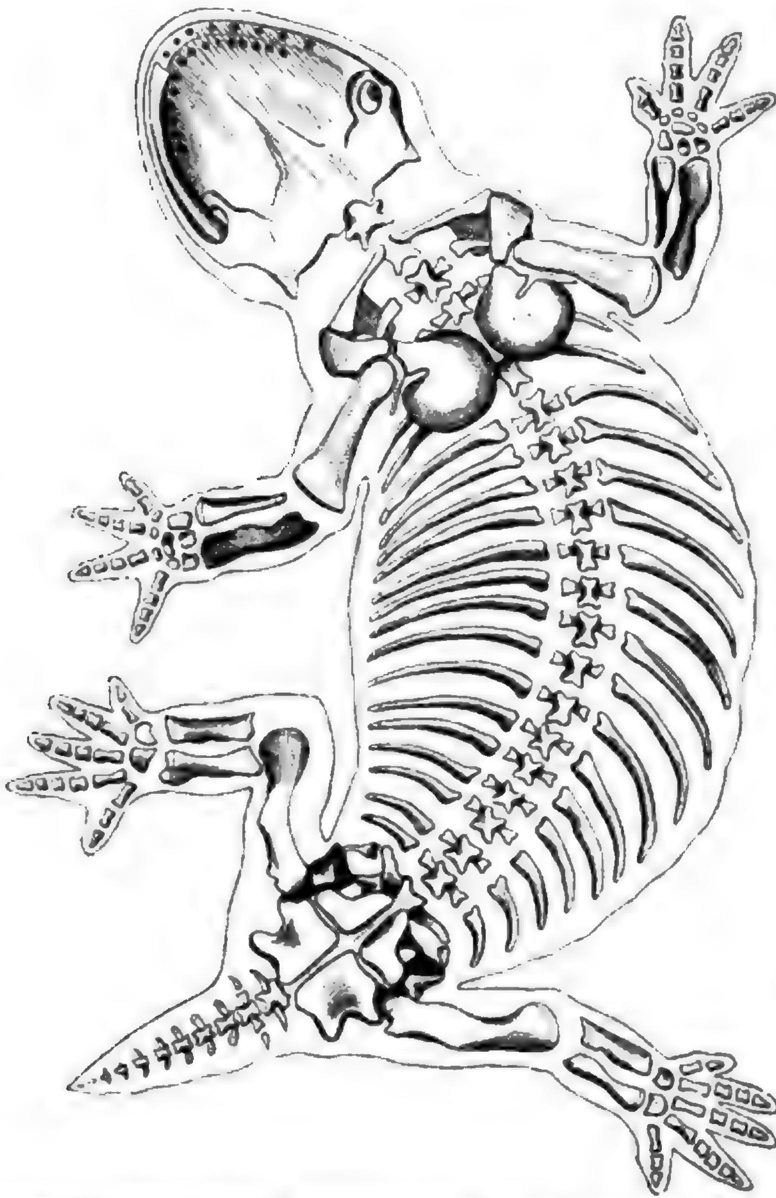
Branchiosaurus aus den permischen Ablagerungen Böhmens, vergrößert (nach A. Fritsch).

Diese Armut der permischen Bildungen ist sicher nicht so aufzufassen, als ob damals überhaupt das organische Leben ein bedeutend schwächeres gewesen wäre als zu andern Zeiten. Jede Formation

zeigt sich in einigen Gegenden durch fossilreiche, in andern durch fossilarme Bildungen vertreten, und letzteres ist gerade in den bis jetzt näher bekannten Distrikten mit den permischen Ablagerungen der Fall; in neuerer Zeit hat man in Armenien und Indien, vielleicht auch in den Alpen, sehr versteinerungsreiche Bildungen gefunden, die sich vermutlich hier einschieben.

III. Mesozoische Periode.

6) Die Triasformation hat ihren Namen von der Dreiteilung erhalten, in welcher sie im außeralpinen Teile von Deutschland auftritt; hier liegt nämlich zu unterst eine überaus versteinerungsarme Sandbildung, der Buntsandstein, darüber Kalke mit sehr zahlreichen Individuen, aber verhältnismäßig wenigen Arten von Fossilien, der Muschelkalk, zu oberst wieder Sandsteine und Thone, der Keuper. Weit fossilreicher, wenigstens im mittlern und obern Teile, ist die Trias in den Ostalpen. Außerdem sind wir unterrichtet über die Verbreitung der Formation in den Karpathen, in Italien, Frankreich, Spanien, England, Spitzbergen, Nordamerika, Sibirien, Neuseeland, Neukaledonien, Indien und Südafrika. Da die Permformation sehr arm an Fossilien ist und der untere Teil der Trias in den bisher bekannten Gegenden deren auch nur sehr wenige geliefert hat, so stehen wir hier vor einer großen Lücke in der paläontologischen Überlieferung. Infolgedessen ist der Kontrast gegen die paläozoische Bevölkerung ein sehr großer.



Labyrinthodon Ruetimeyeri aus dem Buntsandstein der Umgebung von Basel (nach Wiedersheim). Etwas über ¼ der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 42.

Foraminiferen sind in der Trias vorhanden, aber bis jetzt wenig bekannt. Schwämme findet man spärlich, ebenso Korallen, wenigstens in gut erhaltenen Resten; unter ihnen scheint die paläozoische Abteilung der Rugosen zu fehlen, für welche die Hexakorallien auftreten; Tabulaten sind fast verschwunden. Von Stachelhäutern sind Cystideen und Blastoideen ausgestorben; unter den Krinoiden ist die Familie der Tessellaten ausgeschieden und durch die Artikulaten ersetzt (vgl. Encrinus liliiformis, S. 41). Ebenso ist unter den Seeigeln an Stelle der paläozoischen Palaëchinoiden die neue Familie der Euechinoiden getreten, an welchen das Gehäuse stets aus 20 Tafelreihen besteht. Unter den Brachiopoden ist eine Reihe von paläozoischen Gattungen erloschen, während die Terebratuliden jetzt die erste

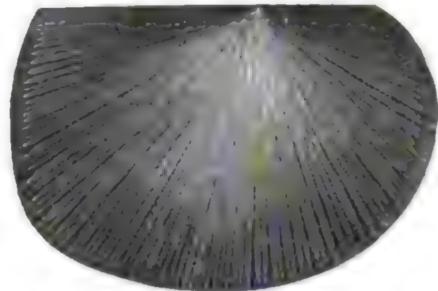
Rolle spielen (vgl. Terebratula vulgaris, unten); Muscheln und Schnecken erscheinen bedeutend zahlreicher als früher und haben eine Reihe charakteristischer Vertreter aufzuweisen, von denen wir nur unter den Muscheln die Halobien und Daonellen nennen wollen



Ceratites nodosus.



Terebratula vulgaris.



Daonella Lommeli.





Arcestes (nach Mojsisovics). a Von vorn, b von der Seite.

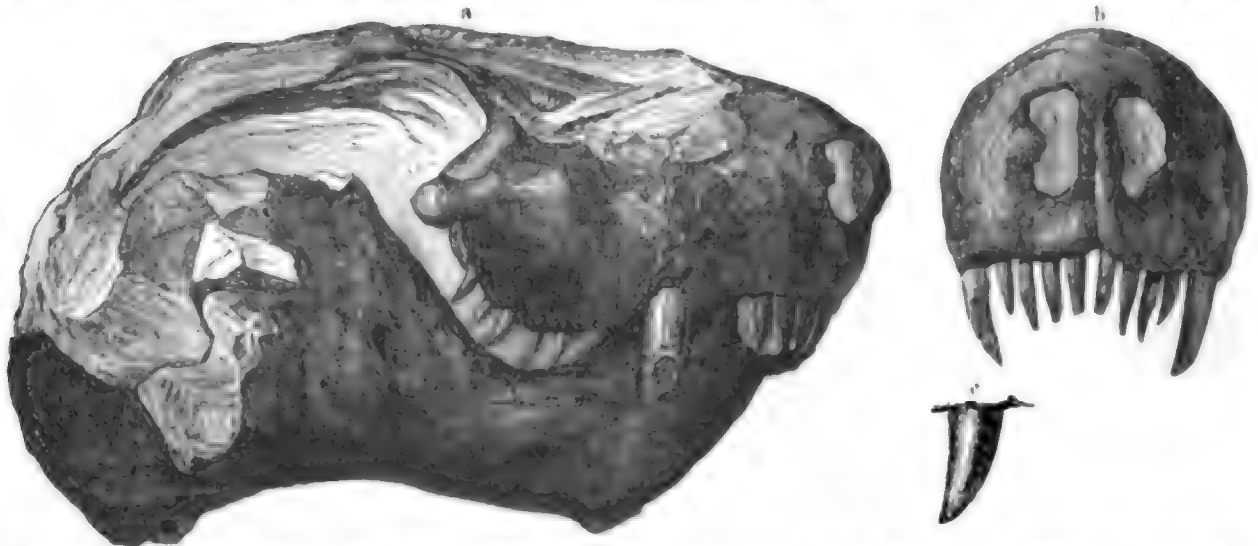


Encrinus liliiformis. Vgl. Text, S. 40.

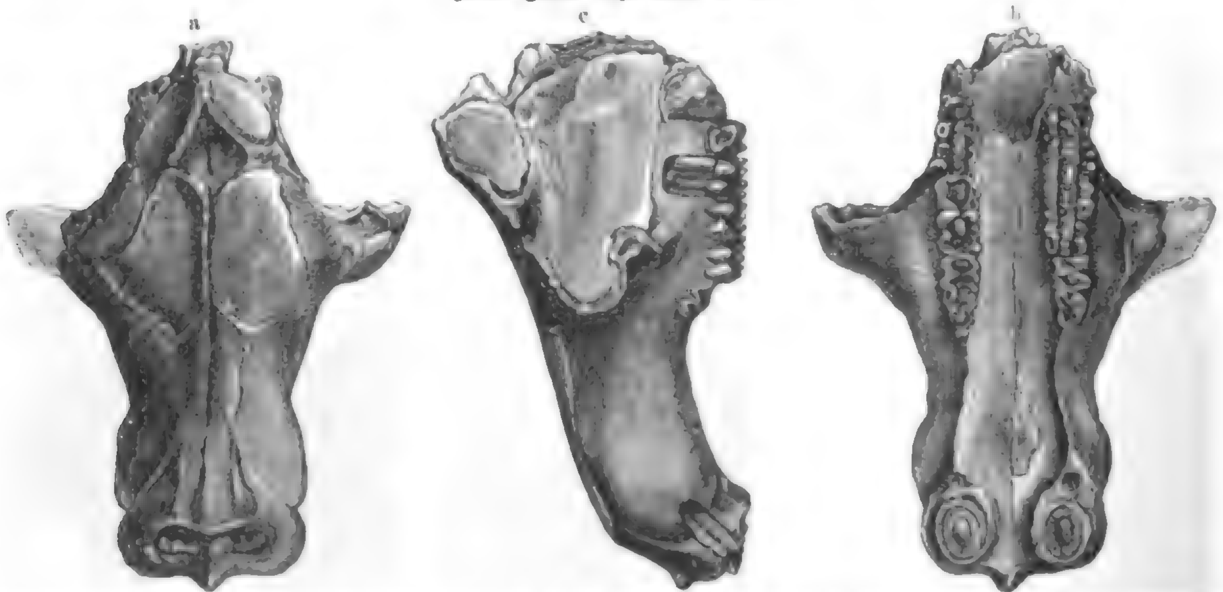
(vgl. Daonella Lommeli, oben). Bei den Cephalopoden sind die Nautiliden nun vollständig von den Ammonitiden überflügelt, welche hier in vielen und hoch entwickelten Formen auftreten (vgl. Ceratites nodosus, oben, und Arcestes, oben), und zu denen sich noch die ältesten Vertreter der Belemnitiden gesellen.

Die Krustaceen der Trias sind noch nicht sehr bekannt, ihre Entwickelung ist besonders durch das Überhandnehmen der hoch stehenden langschwänzigen Krebse charakterisiert.

Die wichtigsten Veränderungen treten uns jedoch bei den höhern Wirbeltieren entgegen. Die Fische sind von den ältern Typen nicht weit verschieden, es finden sich namentlich schmelzschuppige Ganoiden und haifischähnliche Tiere. Bei den Amphibien stoßen wir, wie früher, auf die Stegocephalen, unter denen hier eine Reihe durch ihre Größe



Schädel von Lycosaurus aus der Trias von Südafrika (nach R. Owen). a Von der Seite, b von vorn, c ein einzelner Zahn. Vgl. Text, S. 43.



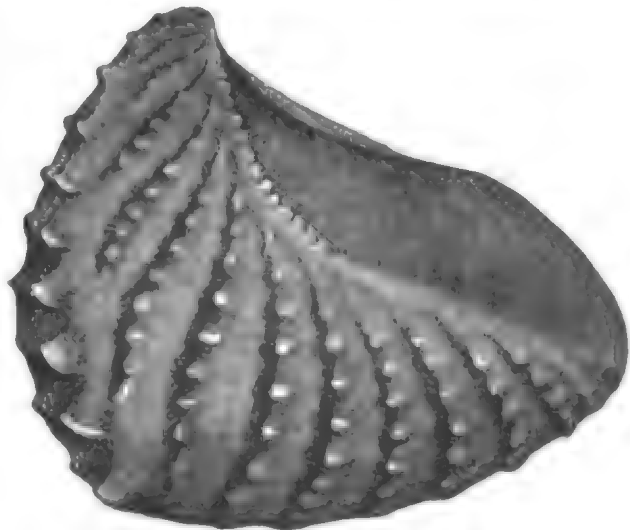
Schädel von Tritylodon, einem Säugetiere aus der Trias von Südafrika (nach R. Owen). a Von oben, b von unten, c von der Seite. Vgl. Text, S. 43.

ausgezeichneter Vertreter unsre Aufmerksamkeit erregen (vgl. Labyrinthodon Ruetimeyeri, S. 40). Mächtige Entwickelung finden wir dagegen ganz plötzlich bei den Reptilien; hier begegnen uns vor allen die merkwürdigen Enalosaurier, gewaltige Meerestiere, bei denen die Extremitäten zu breiten, flossenartigen Ruderorganen umgestaltet sind, die an den Ichthyosauriern sechs, an den Sauropterygiern fünf Finger aufweisen; ferner Dinosaurier und eine Anzahl von Formen, welche die Merkmale dieser mit solchen von Krokodilen und Eidechsen vereinigen. Zu diesen verschiedenartigen Typen treten noch die Flugeidechsen oder Pterodaktylen und vielleicht auch die ersten Schildkröten hinzu. Hat demnach schon die europäische Trias eine große Mannigfaltigkeit von Reptilien geliefert, so gesellt sich zu ihnen in Südafrika

und Indien noch eine Reihe ganz abweichender Typen, welche in der Regel unter dem Namen der Anomodonten zusammengefaßt werden (vgl. die Abbildung von **Lycosaurus**, S. 42). Endlich sind auch Vertreter der höchsten Klasse, der Säugetiere, in Württemberg, England, Südafrika und Nordamerika entdeckt worden, kleine Tierchen, die meist zu den Beuteltieren gerechnet werden; die Reste sind übrigens meist dürftig, ein einziger ziemlich vollständiger Schädelrest aus Südafrika ist unter dem Namen **Tritylodon** (s. Abbildung, S. 42) beschrieben worden und gehört einem durchaus fremdartigen Typus an.



Amaltheus margaritatus. Vgl. Text, S. 44.

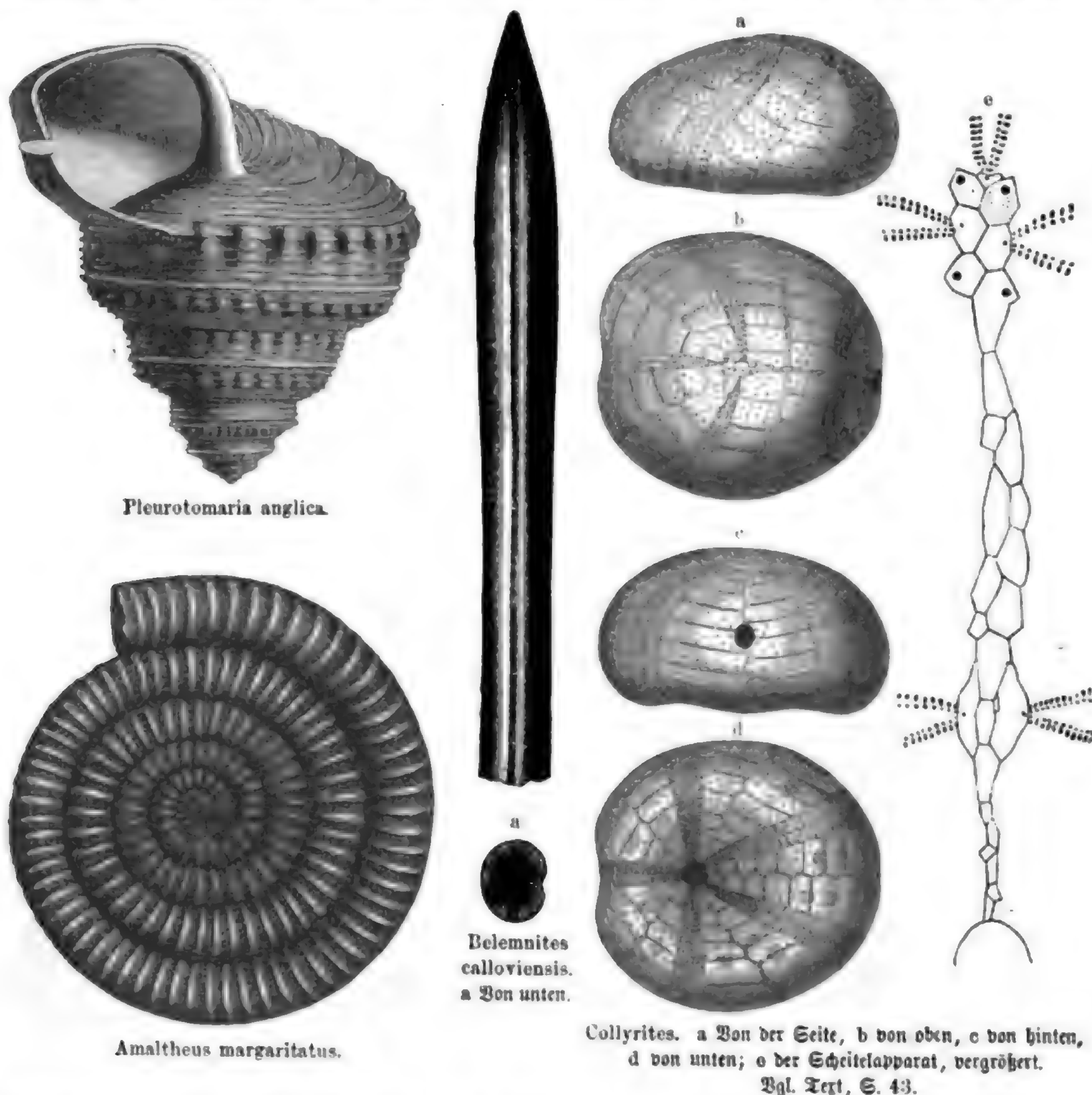


Trigonia navis. Vgl. Text, S. 44.

7) Die Juraformation, deren unterer Teil, der Lias, bisweilen als eine selbständige Formation behandelt wird, ist fast in ganz Europa verbreitet und auch in allen andern Erdteilen nachgewiesen. Gerade in den am besten untersuchten Gegenden zeichnet sie sich durch außerordentlichen Fossilreichtum aus, und deshalb ist die Zahl der bekannt gewordenen Formen eine sehr große. Die winzigen Gehäuse der Foraminiferen sind in außerordentlicher Menge vorhanden; die Glasschwämme finden sich in manchen Distrikten, namentlich im obern Jura, in solchen Massen, daß ihre Reste mächtige Schichtsysteme erfüllen; ebenso treffen wir eine überaus reiche Entwickelung der sechsstrahligen Korallen, von denen uns aus dem obern Jura Anhäufungen bekannt sind, die zur Vergleichung mit den Riffen der Jetztzeit auffordern. Die Krinoiden treten ebenfalls sehr häufig auf, und einzelne derselben erreichen eine Größe, wie wir sie aus keiner andern Formation kennen; doch ist die Mannigfaltigkeit derselben seit der Kohlenformation in starker Abnahme begriffen. Die Seeigel dagegen erlangen hier zum erstenmal große Bedeutung durch die Häufigkeit ihres Vorkommens in manchen Gegenden und durch ihren Formenreichtum. Die dominierende Abteilung derselben sind die regulären Formen (vgl. Cidaris coronata, S. 45), bei welchen der After im Zentrum der Oberseite gelegen ist, während unregelmäßige Formen mit exzentrischem After, die hier auftauchen und den Familien der Galeritiden, Kassiduliden und Disasteriden angehören, gegen jene stark zurücktreten (vgl. Collyrites, S. 44).

In großartigster Ausbildung treten uns die Mollusken entgegen; unter den Brachiopoden ist die Menge der verschiedenen Typen allerdings keine sehr große, da eine bedeutende Anzahl paläozoischer Gattungen, die noch in die mesozoische Zeit hereinragen, teils mit

Schluß der Trias ausgestorben sind, teils im Lias verschwinden, so daß vorwiegend die einseitige Entwickelung der Terebratuliden und Rhynchonelliden eine stattliche Artenzahl liefert. Bei den Muscheln ist wichtig, daß sich die Formen mit Mantelbucht zum erstenmal in bedeutender Menge einstellen. Unter den zahllosen andern Formen mögen noch die Diceraten und Trigonien (vgl. Trigonia navis, S. 43) als charakteristisch bezeichnet werden. Nicht minder groß ist die Zahl der Schnecken, von denen wir zwei Arten hervor-



Pleurotomaria anglica.

Amaltheus margaritatus.

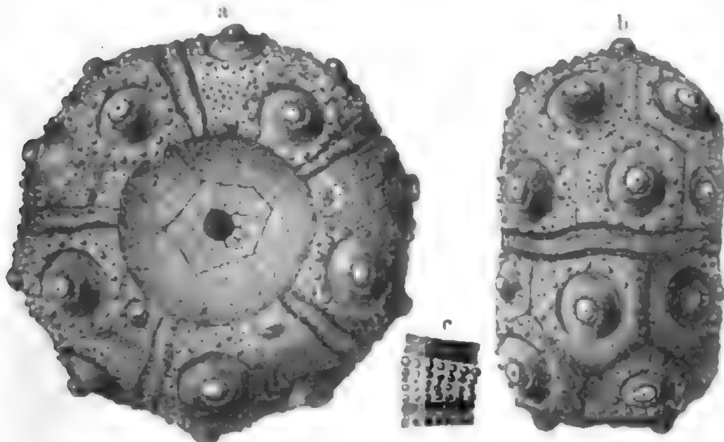
Belemnites calloviensis. a Von unten.

Collyrites. a Von der Seite, b von oben, c von hinten, d von unten; e der Scheitelapparat, vergrößert. Vgl. Text, S. 43.

heben wollen: die Pleurotomarien (vgl. Pleurotomaria anglica, oben), welche in der Gegenwart sehr selten geworden sind, und die Nerineen, die namentlich in allen Korallenbildungen eine große Rolle spielen, jetzt aber vollständig erloschen sind. Unter den Cephalopoden sind die Nautiliden bis auf die eine Gattung Nautilus verschwunden, während die Belemnitiden (vgl. Belemnites calloviensis, oben) und Ammonitiden ihre höchste Blüte erreichen (vgl. Amaltheus margaritatus, oben, und S. 43, und Stephanoceras Brongniarti, S. 45).

Einige wenige Lokalitäten lieferten eine große Menge von Krustaceen, unter denen die langschwänzigen Krebse dominieren, sowie zahlreiche Insekten.

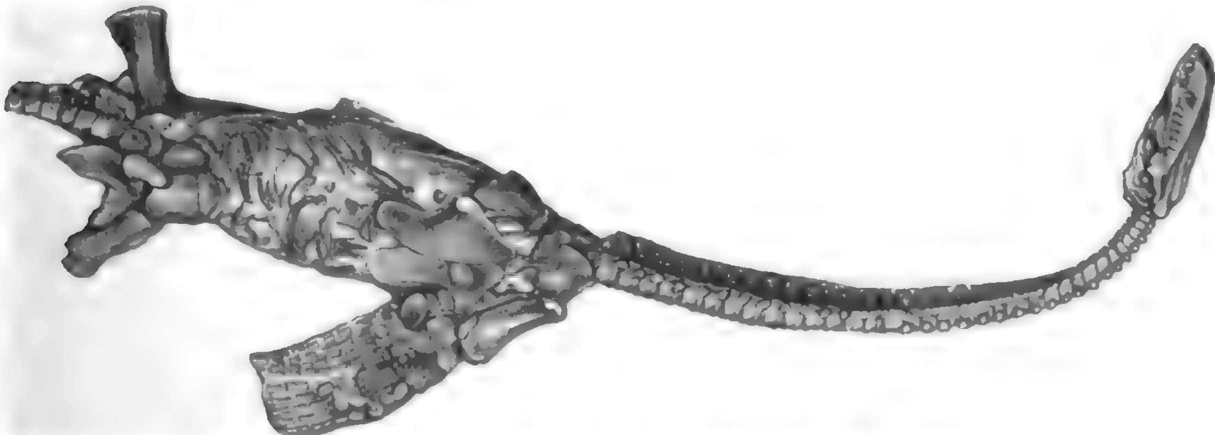
Unter den Fischen sind dieselben Familien vorhanden wie in der Trias; dazu gesellen sich noch die ältesten Knochenfische oder Teleostier, Repräsentanten derjenigen Abteilung, welcher jetzt die große Mehrzahl aller Fische angehört. Die Stegocephalen, welche von der Kohlenformation bis zur Trias eine so wichtige Rolle gespielt haben, sind verschwunden, und es fehlen auffallenderweise alle Amphibien. Von Reptilien sind die Anomodonten ausgeschieden, die übrigen Abteilungen dagegen stärker entwickelt als in der Trias, sei es nun, daß in der Jurazeit wirklich mehr und größere Formen lebten, oder sei es, daß einige Stellen des Jura sich durch die besonders gute Erhaltung der Wirbeltierknochen auszeichnen (vgl. vor-



Cidaris coronata (nach Quenstedt). a Von oben, b von der Seite. Vgl. Text, S. 43.



Stephanoceras Brongniarti. Vgl. Text, S. 44.



Plesiosaurus aus dem untern Lias Englands (nach Sollas), stark verkleinert.

stehende Abbildung von Plesiosaurus). In den höchsten Teilen des Jura, im lithographischen Schiefer von Solnhofen, haben sich die ältesten Vogelreste in dem berühmten Archaeopteryx (S. 46) erhalten, einem Tiere, bei dem das Vorhandensein eines Eidechsenschweifes, einer Bezahnung in den Kiefern und manches andre noch sehr an Reptilien erinnert. Kleine Säugetiere, ähnlich denjenigen der obern Trias, haben sich auch im Jura gefunden.

8) Die Kreideformation hat in ihrer Fauna große Ähnlichkeit mit derjenigen des Jura; es mögen daher nur die wesentlichsten Abweichungen hervorgehoben werden.

Unter den Seeigeln treten zwei neue Gruppen, die Ananchytiden und die Spatangiden, auf (vgl. Ananchytes ovatus, S. 48, und Toxaster complanatus, S. 47), und im allgemeinen ist ein starkes Hervortreten der Irregulären zu bemerken. Unter den Mollusken fällt bei den Muscheln vor allen andern die eigentümliche Familie der Rudisten auf (vgl. Hippurites cornu vaccinum, S. 47), deren Angehörige ausschließlich der Kreidezeit eigen

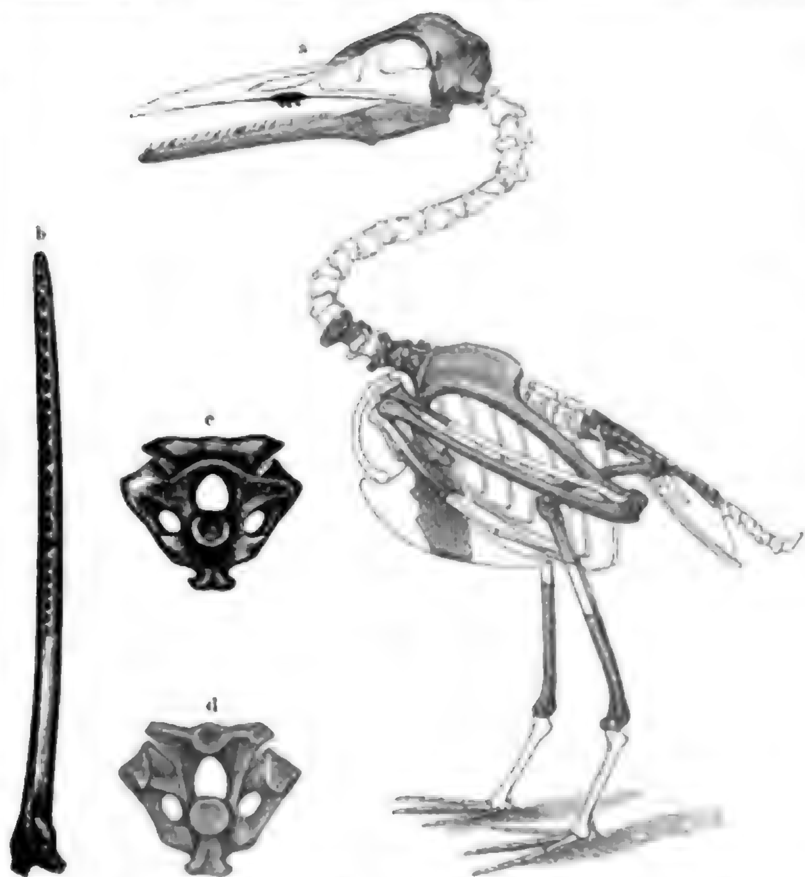
sind; neben ihnen ist namentlich die Gattung **Inoceramus** durch ihre starke Entwickelung charakteristisch (vgl. Inoceramus concentricus, S. 48). Bei den Schnecken ist neben einigen eigentümlichen Gattungen, wie **Actaeonella** und **Avellana**, namentlich das Auftreten einer größern Anzahl noch jetzt lebender Gattungen sowie das Vorhandensein zahlreicher Land-

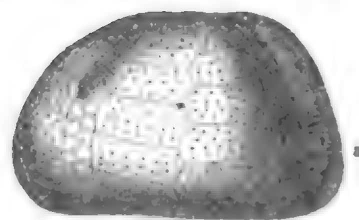


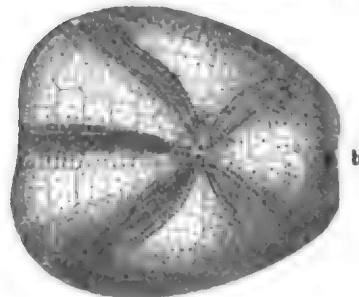
Archaeopteryx von Solnhofen (nach Dames) Nicht ganz 2/3 der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 45.

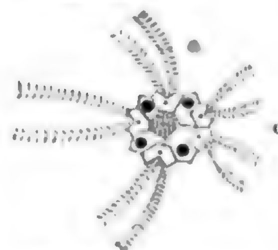
schnecken bemerkenswert. Unter den Cephalopoden überrascht uns die Menge von Ammonitiden, deren Schalen die normale Spirale verlassen (vgl. Crioceras Roemeri, S. 47). Die Krustaceen haben eine beträchtliche Anzahl von Krabben geliefert.

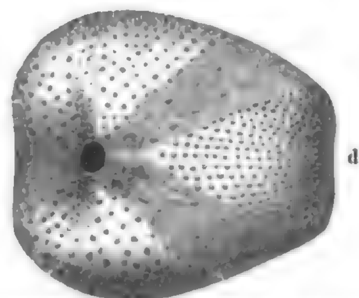
Die Fischfauna der Kreidezeit erhält dadurch ein sehr charakteristisches Gepräge, daß









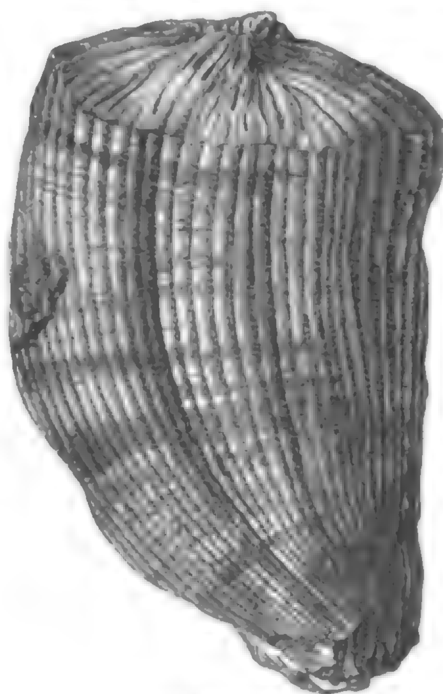


Ichthyornis aus der obern Kreide von Kansas (nach Marsh): a restauriertes Skelet, ⅓ natürl. Größe; b Unterkiefer, von oben gesehen, mit den Zahngruben; c bikonkaver Wirbel, von oben, und d, von unten gesehen. Vgl. Text, S. 49.

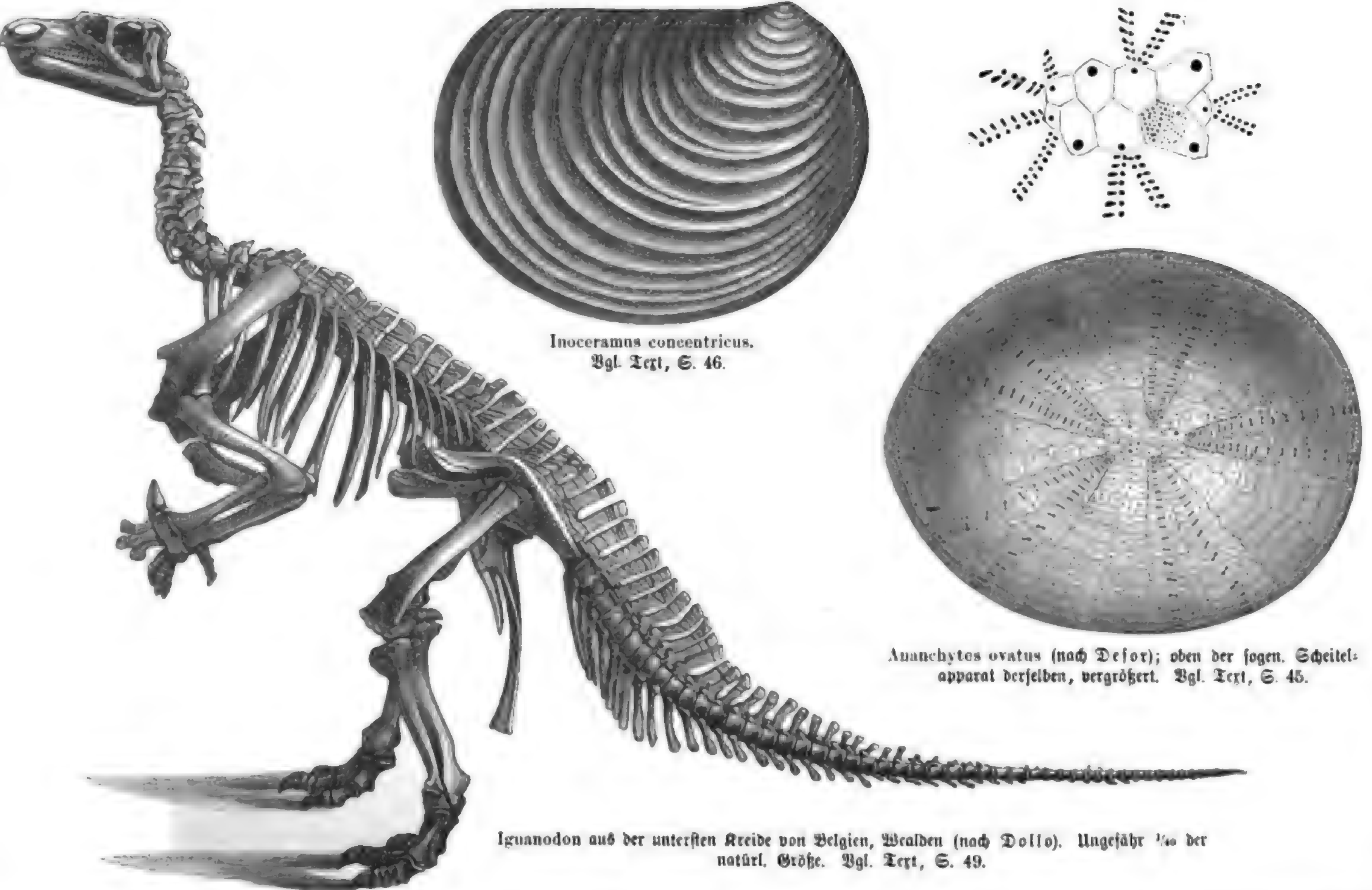
Toxaster complanatus (nach Desor). a Von der Seite, b von oben, c Scheitelapparat, d von unten. Vgl. Text, S. 45.



Crioceras Roemeri. Vgl. Text, S. 46.



Hippurites cornu vaccinum. Vgl. Text, S. 45.



Inoceramus concentricus. Vgl. Text, S. 46.

Ananchytes ovatus (nach Desor); oben der sogen. Scheitelapparat derselben, vergrößert. Vgl. Text, S. 45.

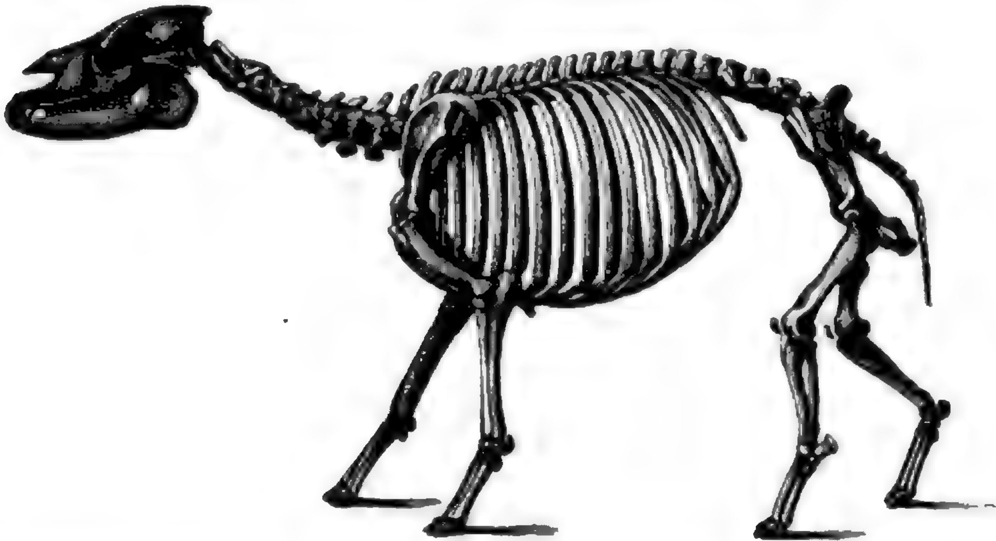
Iguanodon aus der untersten Kreide von Belgien, Wealden (nach Dollo). Ungefähr 1/40 der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 49.

die Teleostier oder Knochenfische in großer Zahl vorkommen und namentlich die schmelzschuppigen Ganoiden zurückdrängen. Während von Amphibien hier so wenig wie aus dem Jura etwas bekannt ist, sind die Reptilien (vgl. Abbildung, S. 48) wieder überaus stark entwickelt, und zu den frühern Repräsentanten treten noch zwei neue Abteilungen, diejenige der sogenannten Mosasauriden sowie die ersten Schlangen, hinzu. Vögel wurden mehrfach gefunden, doch sind gut erhaltene Reste bis jetzt nur aus den westlichen Territorien der Vereinigten Staaten von Nordamerika bekannt (vgl. Ichthyornis, S. 47); bei allen scheinen Zähne in den Kiefern vorhanden gewesen zu sein. Säugetiere, die wir aus der Trias- und Juraformation kennen, hat die Kreidezeit bisher noch nicht geliefert.

Für die Entwickelung der Landflora bildet, wenigstens in den uns bekannten Gegenden, die Mitte der Kreideformation den wichtigsten Wendepunkt in der ganzen geologischen Entwickelung, indem hier plötzlich zahlreiche Laubbäume und andre Vertreter der großen Abteilung der Dikotyledonen auftreten.

IV. Känozoische Periode.

9) Die **Tertiärformation**, die sich in der ganzen Entwickelung der Tier- und Pflanzenwelt den jetzigen Verhältnissen nähert, wird in vier aufeinander folgende Unterabteilungen gebracht, das Eocän, Oligocän, Miocän und Pliocän[1]. Der Abstand gegen die Fauna der mesozoischen Ablagerungen ist außerordentlich groß und wird wohl am besten dadurch charakterisiert, daß wir kurz die wichtigsten Typen aufzählen, die in der Kreidezeit noch eine große Rolle spielten, im Tertiär dagegen verschwunden oder (was in der nachstehenden Übersicht durch ein Sternchen [*] angedeutet ist) sehr stark reduziert sind.



Palaeotherium magnum aus dem Gips des Montmartre in Paris (nach Gaudry). 1/[illegible] der natürl. Größe. Vgl. Text, S. 50.

Unter den Seeigeln sind es die Salenien*, Ananchytiden*, Galeritiden* und Dysasteriden; von Muscheln die Rudisten, Trigonien* und Inoceramen; von Schnecken die Pleurotomarien*, Nerineen, Aktäonellen; von Cephalopoden die Ammonitiden und Belemnitiden*; von Fischen die Ganoiden*; von Reptilien die Sauropterygier, Ichthyopterygier, Dinosaurier, Pterosaurier und Mosasaurier; endlich die Vögel mit Zähnen.

Weitaus die merkwürdigste Thatsache, welche wir aus dieser Zusammenstellung kennen lernen, ist der außerordentliche Rückgang der Reptilien, deren neun in der Kreidezeit vor-

[1] Vom griechischen ἠώς (ēos), Morgenröte, und καινός (kainós), neu; ὀλίγος (oligos), wenig, und καινός; μείων (meiōn), weniger, und καινός; πλείων (pleiōn), mehr, und καινός.

handene Ordnungen auf vier zusammengeschmolzen sind. An ihre Stelle treten die Säugetiere, welche nun in Masse erscheinen und unter den Landbewohnern die dominierende Rolle spielen. Dieselben gehören im Eocän und Oligocän fast durchgehends inzwischen ausgestorbenen Gattungen an (vgl. das tapirähnliche Palaeotherium magnum, S. 49), im Miocän treten dazu viele jetzt lebende Gattungen, im Pliocän endlich sind die letztern vorherrschend, während die Arten noch samt und sonders von den heutigen verschieden sind.

Bei den wirbellosen Tieren ist die Annäherung an die jetzigen Verhältnisse eine außerordentlich große; ja, fast die einzige auffallende Verschiedenheit auf diesem Gebiete besteht in dem massenhaften Auftreten der durch ihre Größe ausgezeichneten Foraminiferengattung Nummulites, deren Angehörige im ältern Tertiär durch die Anhäufung ihrer zahllosen Schalen geradezu gebirgsbildend wirkten. Die große Mehrzahl der Gattungen



Skelett von Rhinoceros antiquitatis aus der Gegend von Mühldorf am Inn.

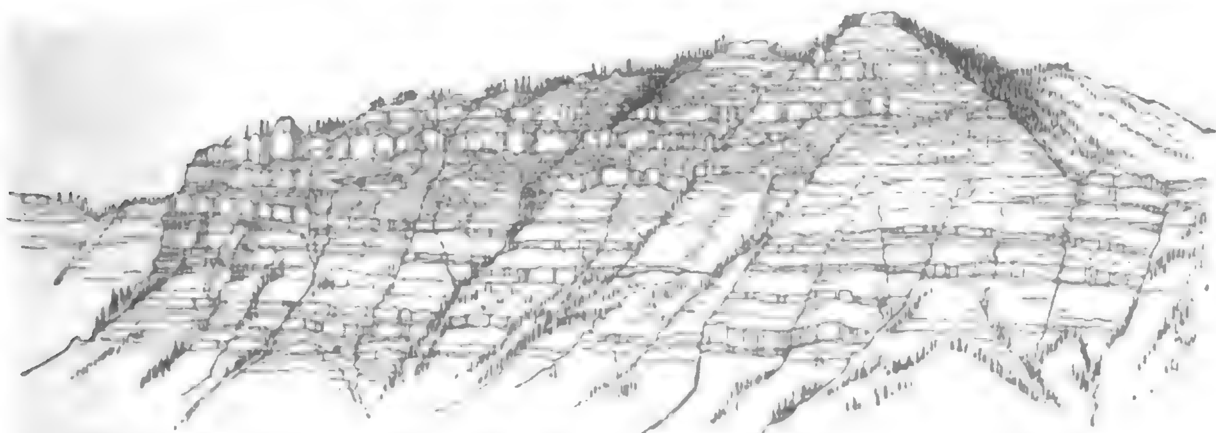
stimmt bei den Wirbellosen schon im Eocän mit denen der Jetztzeit überein, und vom Miocän an treten auch zahlreiche identische Arten auf. In Europa hat die Bevölkerung der Eocänzeit einen entschieden tropischen Charakter, im Miocän und Pliocän scheint die Temperatur niedriger als im Eocän, aber doch höher als jetzt gewesen zu sein.

10) Die Quartär- oder Diluvialformation zeigt in den Organismen noch weit größere Übereinstimmung mit der Jetztzeit. Die große Mehrzahl aller Arten stimmt mit heute lebenden überein, und nur unter den Säugetieren finden sich viele jetzt ausgestorbene Arten (vgl. oben Rhinoceros antiquitatis). In die Quartärformation fällt die Eiszeit und das erste Auftreten des Menschen; von ihr führen allmähliche Übergänge zur Gegenwart herüber.

Lagerungsverhältnisse.

Nur in kürzesten Zügen konnten die wichtigsten Hauptabteilungen der Schichtfolge charakterisiert und einige Abbildungen beigegeben werden, die den Leser in den Stand setzen sollen, eine Vorstellung an die Namen zu knüpfen; in derselben Weise mögen nun noch die hauptsächlichsten Lagerungsverhältnisse kurz geschildert werden.

Die Flözgesteine sind, wie es der Natur ihrer Ablagerung auf dem flachen Boden des Meeres entspricht, bis auf verschwindende Ausnahmen ursprünglich entweder vollständig horizontal gelagert, oder die Neigung der Schichten ist wenigstens so gering, daß sie in der Nähe für das Auge nicht wahrnehmbar wird und erst deutlich hervortritt, wenn man dieselbe Schicht auf weite Strecken verfolgt. Die Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Schichten bleibt sich häufig auf große Entfernungen gleich, in vielen Fällen dagegen schwellen sie bald rascher, bald langsamer an oder nehmen an Mächtigkeit ab. Man beobachtet sogar bisweilen, daß sich eine einzelne oder eine ganze Gruppe derselben ganz verliert, nachdem sie vorher an Volumen stark abgenommen hat; ein solches Sichausspitzen einer Schicht wird in der geologischen Sprache als „Auskeilen" bezeichnet. Die beistehenden Zeichnungen sind bestimmt, dieses Verhältnis an zwei Beispielen zu veranschaulichen: die erste (s. unten) zeigt, wie in einem Schichtsystem einige Bänke sich verlieren und andre für sie einsetzen, die zweite (vgl. S. 52) stellt einen der gewaltigen Dolomitberge



Auskeilende Schichten (nach Hayden).

Südtirols, den 2559 m hohen Set Saß bei St. Cassian im Abteithal, vor. Derselbe besteht aus einer gewaltigen Masse von Dolomit der obern Trias, welcher auf horizontal gelagerten Mergeln, den sogenannten Cassianer Mergeln, ruht. Nach links vorgeschoben, tritt eine niedrigere Dolomitkuppe, das „Richthofen-Riff", auf, die jedoch mit der Hauptmasse des Set Saß nicht im Zusammenhang steht, sondern durch Mergel von dieser getrennt ist. Die Lagerung ist derart, daß der Dolomit des Set Saß die oberste, jüngste Schicht bildet, unter diesem Mergel folgen und unter letztern der Dolomit des Richthofen-Riffes; auch unter diesem treten nochmals die Mergel auf. Verfolgen wir nun die Dolomite des Riffes auf der Zeichnung nach rechts, so sehen wir, daß dieselben rasch an Dicke abnehmen und als schmale Zunge zwischen den Mergeln verschwinden; die Dolomite keilen zwischen den Mergeln aus, und eine derartige Gesteinspartie, welche bei verhältnismäßig großer Mächtigkeit geringe horizontale Verbreitung hat und nach allen Seiten auskeilt, bezeichnet man als eine „Linse".

Das Verhalten der Dolomite zu den Mergeln am Set Saß wurde hier durch eine Landschaftszeichnung erläutert. Eine solche gibt natürlich unter günstigen Verhältnissen eine überaus anschauliche Vorstellung, jedoch nicht allenthalben läßt sich diese Methode verwenden; nicht jeder Geolog ist ein gewandter Landschaftszeichner oder kann auf seinen Exkursionen einen photographischen Apparat mit sich führen. Überdies kostet eine Aufnahme in der einen oder andern Weise immer viel Zeit. Aber abgesehen davon wird z. B., wenn viel Vegetation vorhanden ist, überhaupt auf eine gewisse Entfernung nichts von der Lagerung zu erkennen sein; in diesem Falle, oder wenn Verhältnisse, die nicht von einem

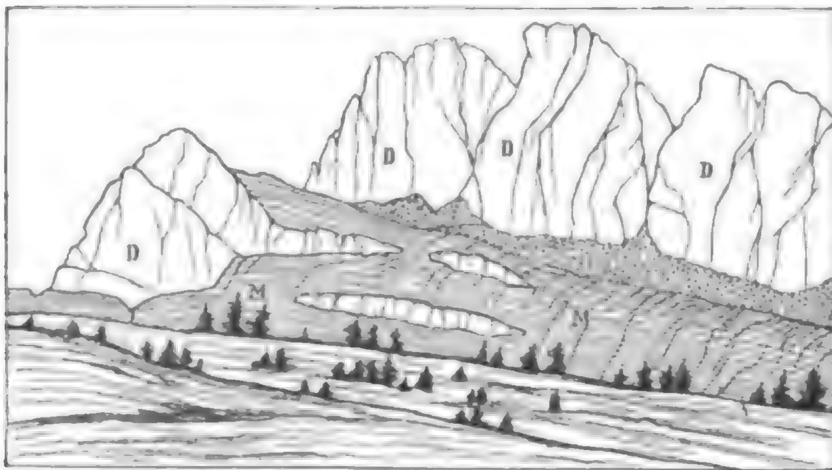
Punkte aus überblickt werden können, doch im Zusammenhange dargestellt werden sollen, bedient man sich der Durchschnitte oder Profile, welche bei geologischen Schilderungen in ausgedehntester Weise zur Anwendung kommen. Man denkt sich das Terrain, dessen Bau veranschaulicht werden soll, senkrecht durchschnitten und stellt nun diese Schnittfläche, wie



Richthofen-Riff (nach Mojsisovics).

sie sich nach dem Resultate der Untersuchungen theoretisch ergeben würde, in der Zeichnung schematisch dar.

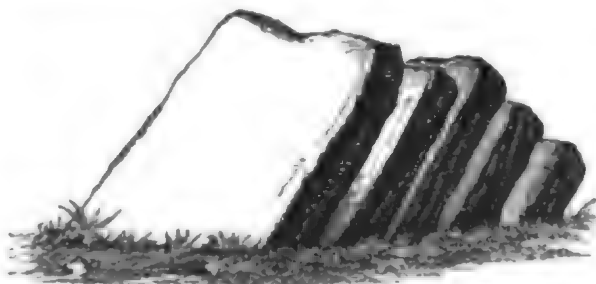
Es gehört nur ein geringer Grad von Übung dazu, um sich mit dem Wesen eines solchen Durchschnittes vertraut zu machen, und da wir sehr oft genötigt sein werden, uns dieses Hilfsmittels zu bedienen, so müssen wir uns hier mit dem Gegenstande etwas näher beschäftigen. Nebenstehende Zeichnung stellt im Profile die Verhältnisse vom Set Saß und Richthofen-Riffe dar, und ein Vergleich derselben mit der obenstehenden landschaftlichen Darstellung wird leicht ihre Bedeutung erkennen lassen.



Schematische Profilzeichnung des Richthofen-Riffes (nach Mojsisovics). D Dolomit; M Mergel.

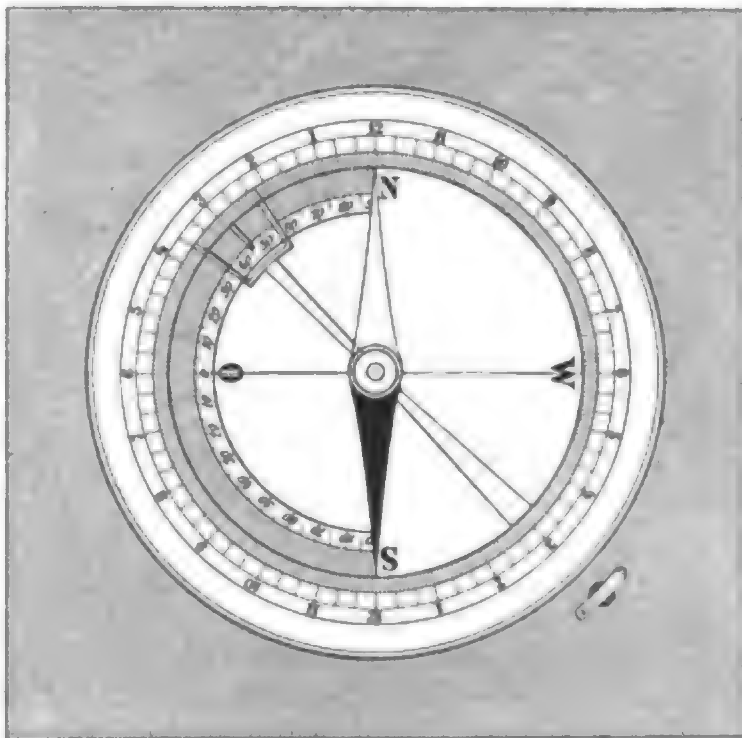
Bei der Zeichnung geologischer Profile gilt es als Regel, dieselben so weit als irgend möglich im natürlichen Verhältnisse von horizontaler Erstreckung und senkrechter Höhe zu halten, da nur auf diesem Wege eine richtige Darstellung erzielt werden kann. Allerdings ist dies nicht immer durchführbar; wenn man z. B. Forschungen in einem wenig zivilisierten Lande vornimmt, von dem keine oder nur wenig genaue topographische Karten existieren, so fehlt überhaupt die Grundlage für die Einhaltung der natürlichen Verhältnisse, und ähnlich steht es, wenn man nur den Hauptcharakter einer Gegend nach den Eindrücken einer

raschen Rekognoszierung wiedergeben will. Endlich sind die Terrainverschiedenheiten in niedrigen Hügelländern in der Regel so gering, daß es schwierig wird, bei Durchschnitten durch größere Strecken alle Einzelheiten der Beobachtung in einem Profile im natürlichen Verhältnisse zum Ausdrucke zu bringen, und viele Geologen nehmen in diesem Falle zu dem Hilfsmittel ihre Zuflucht, die senkrechten Abstände in zwei- oder dreimal so großem Maßstabe darzustellen als die horizontalen Entfernungen. Immerhin muß man im Gedächtnisse behalten, daß dies eine naturwidrige Verzerrung ist, die leicht zu falschen Vorstellungen führt, weshalb diese Methode nur im Notfalle zur Anwendung gebracht werden darf.



Geneigte Schichten.

Eine dritte Methode endlich, geologische Verhältnisse darzustellen, ist die Anfertigung geologischer **Karten**, auf welchen der Raum eingezeichnet wird, den jedes Gestein an der Oberfläche einnimmt. Sie gehören zu den wichtigsten Hilfsmitteln der Geologen in theoretischer wie in praktischer Beziehung, und nicht umsonst wendet man jetzt allgemein große Mittel auf, um alle Länder in dieser Weise systematisch aufzunehmen. Für denjenigen, welcher große Übung in deren Benutzung hat, ergibt schon die Ansicht einer guten geologischen Karte den Bau eines Landes; doch ist ein leichterer Überblick in dieser Beziehung nur durch die Kombination derselben mit Profilen möglich.



Bergkompaß.

Die ursprüngliche Lagerung fast aller Schichten ist zwar eine horizontale, aber infolge der Vorgänge der Gebirgsbildung im weitesten Sinne treten sehr häufig spätere Veränderungen ein: die Schichten werden aufgerichtet, gebogen, geknickt ꝛc., sie erleiden „**Störungen**“, wie der technische Ausdruck lautet. Die Ursachen solcher Vorgänge werden wir später eingehend besprechen, hier kommt es nur darauf an, die äußern Erscheinungen und die geologische Betrachtungs- und Bezeichnungsweise für dieselben kennen zu lernen.

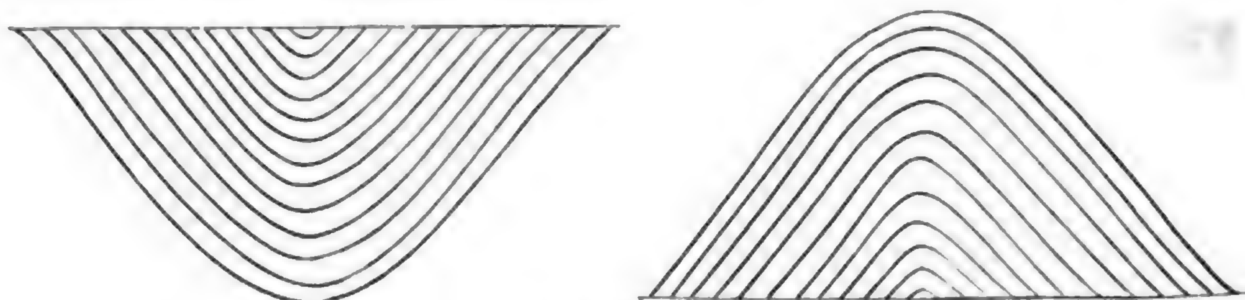
Wenn wir aufgerichtete, mehr oder weniger geneigte Schichten ins Auge fassen, wie sie zu den häufigsten Erscheinungen gehören, so ist an ihnen eine Reihe von Verhältnissen zu beobachten, deren genaue Feststellung zu den wichtigsten Aufgaben des untersuchenden Feldgeologen gehört. Vor allem gehört hierher die Richtung, nach welcher die Bänke in horizontaler Richtung sich erstrecken, „**das Streichen**“, und der Winkel, unter dem sie geneigt sind, „**das Fallen**“, wie die Geologen, oder „**das Verflächen**“, wie die Bergleute in der Regel sagen.

Die Richtung oder das Streichen der Schichten wird dadurch bestimmt, daß man auf einer entblößten Schichtfläche die Direktion einer horizontalen Linie bestimmt, was durch ein sehr einfaches Instrument, den **Bergkompaß**, geschieht. Dies ist ein ziemlich großer Kompaß, der entweder auf einer rechtwinkeligen Messingplatte angebracht oder, was zweckmäßiger erscheint, in einem viereckigen, zuklappbaren Holzkästchen untergebracht ist. Die Nordsüdlinie des Kompasses läuft der einen Seite des Kästchens oder der Platte genau parallel, und die Messung wird einfach so vorgenommen, daß man die rechteckige Unterlage des Kompasses horizontal an die Schichtfläche anlegt und nun nachsieht, wie weit sich der Nordpol der Nadel von der auf dem Boden des Kompaßgehäuses eingravierten Nordsüdlinie entfernt.



Überkippte Schichten am East River in Colorado, Nordamerika (nach Peale). 1 Silur; 2 Kohlenformation; 3 Trias; 4 Jura; 5 Kreide. Vgl. Text, S. 55.

Um dies direkt ablesen zu können, läßt man das Instrument gewöhnlich so gestalten, daß Osten und Westen verkehrt, d. h. ersterer links, letzterer rechts von der Nordlinie, angebracht sind; die weitere Einteilung des Umkreises geschieht entweder in 24 Stunden, die weiter in je 15 Grade geteilt werden, oder sie gibt nur die 360 Grade des Horizontes an. Der sogenannte Freiberger Kompaß hat eine Einrichtung, durch welche sehr bequem die Streichungsrichtung einfach durch Angabe der Stunde angegeben wird; sagt man z. B., eine



Synklinale und Antiklinale. Vgl. Text, S. 55.

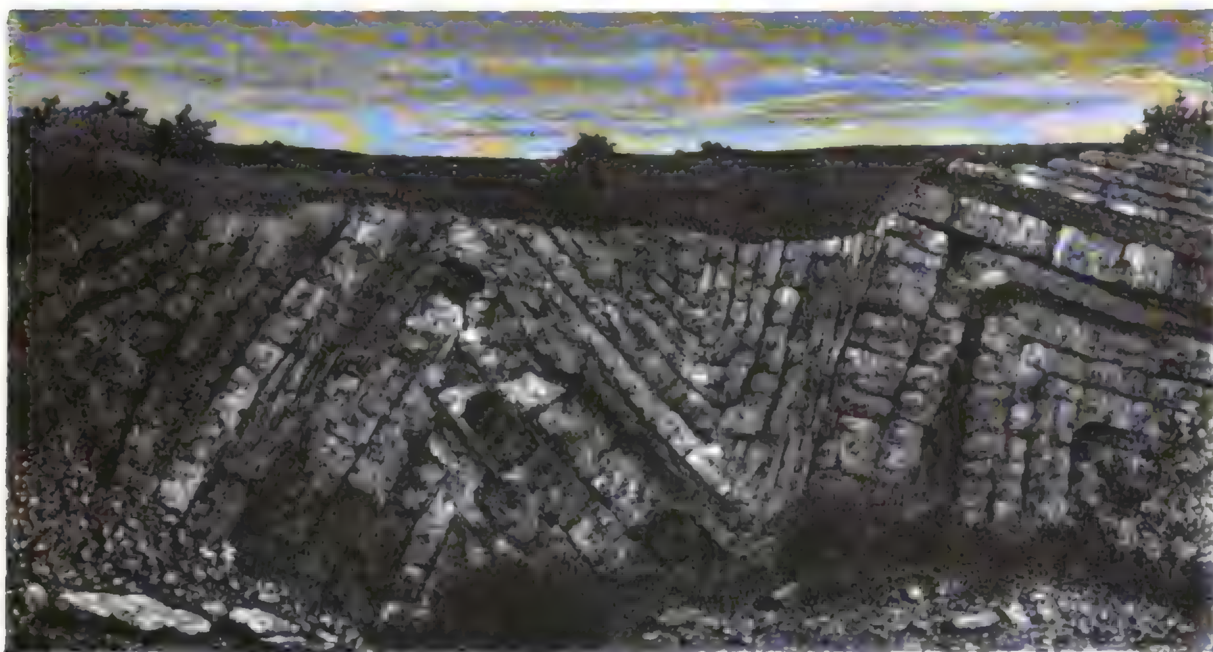
Schicht streicht Stunde 9 oder hora 9, so bedeutet dies ein genau von Südost nach Nordwest gerichtetes Streichen, und man braucht zur völligen Feststellung nur noch die Angabe, ob dabei die Neigung nach Nordost oder nach Südwest geht.

Zur Bestimmung des Fallens ist ebenfalls eine kleine Vorrichtung am Bergkompaß angebracht; die Magnetnadel wird mit Hilfe einer kleinen Schraube arretiert und der Kompaß nun mit der einen Seite senkrecht in der Fallrichtung der zu messenden Schicht aufgestellt, so daß ein kleiner Senkel, der im Innern angebracht ist, spielen und sich einstellen kann. Eine Gradeinteilung, über welche der Senkel läuft, gestattet die Ablesung; ehe diese Messung vorgenommen wird, muß natürlich zuerst die Fallrichtung, d. h. die stärkste Neigung der Schicht, die stets mit dem Streichen einen rechten Winkel bildet, bestimmt werden.

Die Resultate solcher Bestimmungen, welche die Grundlage jeder geologischen Forschung in einem Terrain mit geneigten Schichten ausmachen, werden allgemein durch ein

bestimmtes Symbol in die Karten eingetragen: ein einfacher Strich bezeichnet das Streichen, ein dazu senkrechter Pfeil das Fallen und eine Zahl daneben den Fallwinkel; so bedeutet z. B. das Symbol ✓ 45° eine Schicht, die nordwestsüdöstlich streicht und unter 45° nach Nordost einfällt.

Allein nicht nur einfache Aufrichtung unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel kommt vor, sondern man trifft auch vielfach den Fall, daß die Schichten ganz senkrecht („seiger", „auf dem Kopfe") stehen; ja, die Störung kann so weit gehen, daß eine vollständige Umwälzung, eine „Überkippung", der Schichten eintritt in der Weise, daß nun die jüngern Ablagerungen zu unterst liegen und von den ältern bedeckt werden. Ein großartiges Beispiel dieses Verhältnisses zeigt die obere Abbildung auf S. 54, in welcher die Schichten der Kreideformation zu unterst liegen; diese werden von Jura- und Triasschichten bedeckt, welche ihrerseits von der Kohlenformation und dem Silur überlagert sind; nach links im Hintergrunde gehen dann die Kreidebänke aus der überkippten in senkrechte und dann in normale Lage über.



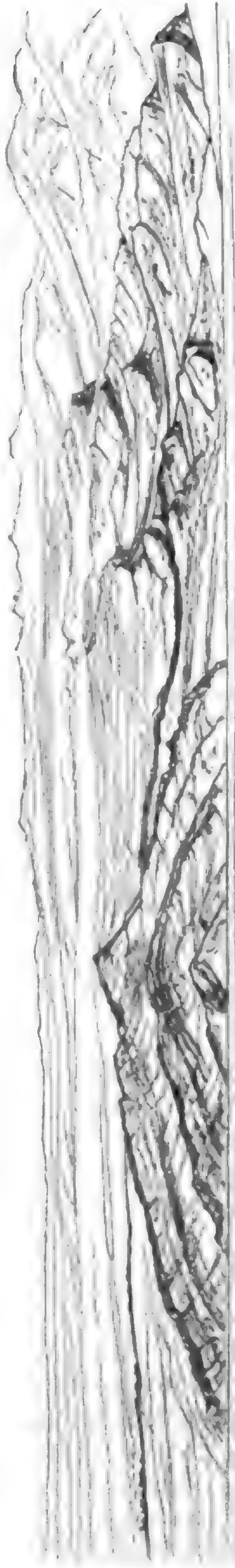
Geknickte Kalkschichten (nach Green).

Häufig findet man die Ablagerungen einfach aufgerichtet, weit öfter aber treten Störungen komplizierterer Art ein. Vor allem ist es die Bildung von Faltungen und Knickungen, welche den Bau vieler der bedeutendsten Gebirge beherrscht; was unter diesen Ausdrücken zu verstehen ist, bedarf wohl keiner ausführlichen Beschreibung und wird weit besser, als durch eine solche, durch die Profile und Landschaftszeichnungen auf S. 54, 55, 56 dargestellt. Die geneigten Schichtenteile, welche durch eine gewölbte Partie zu einer Falte miteinander vereinigt werden, bezeichnet man als die Schenkel einer Falte. Eine Falte, bei welcher die beiden Schenkel voneinander wegfallen und der gewölbte Teil konvex nach oben gerichtet ist, heißt ein Sattel oder eine Antiklinalfalte, während im entgegengesetzten Falle, wenn die Schenkel gegeneinander gerichtet sind und der gewölbte Teil der Falte konvex nach unten gekehrt ist, eine Synklinalfalte oder Synklinale vorliegt (vgl. Abbildung, S. 54, unten).

Von der Faltung unterscheidet sich die Knickung der Schichten dadurch, daß die geraden Schenkel hier nicht durch eine gebogene Partie miteinander verbunden, sondern winkelig gegeneinander abgesetzt sind, wie aus obenstehender Abbildung ersichtlich ist.



Aufgebrochene Antiklinalfalte aus dem Tetongebirge in Idaho, Nordamerika (nach St. John).



Antiklinale und Synklinale aus dem Big Thomson Creek in Colorado, Nordamerika (nach Hayden).

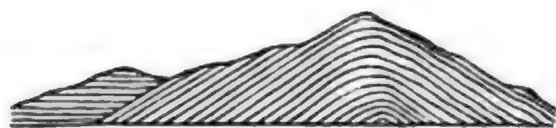
Die nebenstehenden Zeichnungen sind bestimmt, die Art und Weise zu erläutern, wie Falten in der Natur auftreten; in beiden Fällen handelt es sich um die Darstellung von Verhältnissen in den westlichen Territorien der Vereinigten Staaten von Nordamerika. Die erste derselben zeigt eine einfache Antiklinale mit ziemlich steil gestellten Schenkeln. Hier ist aber durch Verwitterung und Abschwemmung die gewölbte Decke der Falte zum großen Teile abgetragen, so daß die jüngern Schichten, die in dieser Falte vertreten sind, keine zusammenhängende Decke bilden; ihre Schichtköpfe ragen nach aufwärts, das Gewölbe, das sie beiderseits verbinden sollte, fehlt, sie bilden einen „Luftsattel“.

Die zweite Abbildung stellt eine Kombination einer antiklinalen und einer synklinalen Falte dar. Auf der linken Seite bildet die geschlossene Antiklinale einen Berg, die Einsenkung zu seiner Rechten entspricht der Mitte der synklinalen Falte, durch welche in dem Höhenzuge rechts die Schichten wieder zu Tage gebracht werden.

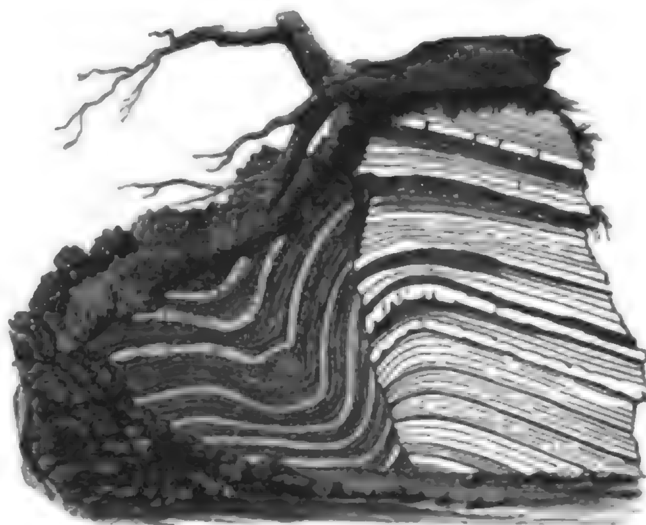
Bei all den bisherigen Darstellungen war vorausgesetzt, daß die Schichten, deren Verhältnisse geschildert wurden, in regelmäßiger und normaler Weise Bank über Bank „konkordant“ oder „gleichmäßig“ übereinander abgelagert worden seien; vielfach kommen jedoch Abweichungen davon vor, welche weitere wichtige Verwickelungen mit sich bringen. Denken wir uns z. B. ein Schichtensystem aufgerichtet oder gefaltet und dabei dem Bereiche des Meeres entzogen, so wird eine Denudation stattfinden, wie wir sie in mehreren Fällen kennen gelernt haben. Es kann aber nun durch irgend eine Veränderung das Meer an der betreffenden Stelle Boden gewinnen und vorher trocken gewesenes Land überfluten; dies wird als ein „Übergreifen“ oder eine „Transgression“ des Meeres und seiner Absätze bezeichnet. Ferner können sich neue horizontale Ablagerungen auf den Schichtköpfen älterer aufgerichteter Schichten bilden, und dann liegt eine „diskordante oder ungleichmäßige Überlagerung“ vor (vgl. die Abbildung, S. 58, oben). In andern Fällen wird die Diskordanz nur die Form annehmen, daß sich die

neugebildeten Schichten an ältere aufgerichtete Absätze horizontal anlagern; sie „stoßen dann gegen die ältern Schichten ab“ (vgl. die nachstehende Abbildung, links oben).

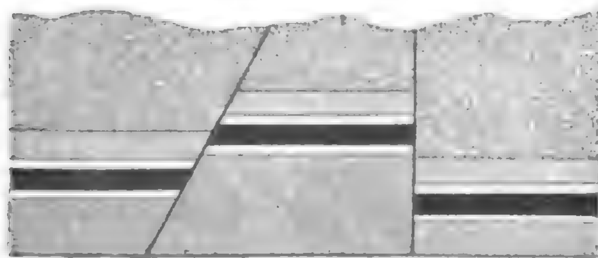
Eine von den Faltungen wesentlich verschiedene Art der Störungen haben wir in den **Verwerfungen** oder **Brüchen**. Unter diesem Namen versteht man Spalten, die ein



Abstoßende Lagerung.



Verwerfung mit Schleppung der Schichten.



Verwerfungen oder Brüche.

Gesteinssystem senkrecht oder geneigt durchsetzen und an sich eine Verschiebung der zu beiden Seiten der Spalte vorhandenen Gesteine erlitten haben; in der Regel ist das Verhältnis derartig, daß an der Kluft die Partie auf der einen Seite abgesunken, „in die Tiefe ge-



Gekreuzte Gänge bei St. Louis (nach Hayden). Vgl. Text, S. 59.

worfen“, ist. Der Höhenunterschied („die Sprunghöhe“), welcher zwischen dem verworfenen und dem unverrückt gebliebenen Teile der Ablagerung vorhanden ist, beträgt oft nur wenige Zentimeter; er kann aber auch ganz kolossale Dimensionen erreichen, die nach Tausenden von Metern zählen. Beim Absinken so gewaltiger Massen werden durch den

ungeheuern Druck, der dabei stattfindet, im geschichteten Gesteine die Bänke der in die Tiefe gleitenden Partie unmittelbar an der Spalte nach aufwärts, die der stehen bleibenden Partie nach abwärts gebogen, sie werden „geschleppt“ (s. Abbildung, S. 57, rechts oben).



Ungleichmäßige Überlagerung. Vgl. Text, S. 56.



Ein Gang, horizontale Schichten durchsetzend (nach Hayden).

Eine wichtige Erscheinung, die mit dem Auftreten von Bruchlinien in Verbindung steht, bilden die Gänge, von Gestein oder Mineralien ausgefüllte Spalten im Gebirge, welche geschichtetes oder massiges Gebirge durchsetzen. Diese Vorkommnisse, unter denen die Erzgänge von höchster Bedeutung für den Bergbau sind, verdanken ihre Entwickelung sehr verschiedenen Ursachen; entweder wird in eine schon vorhandene Spalte eruptives feuerflüssiges Material von unten eingepreßt, oder Wasser, welches in den Klüften zirkuliert, erfüllt die Spalte mit auskristallisierenden Mineralien. In manchen Fällen besteht das Gangmaterial lediglich aus Geröllen, Gesteinstrümmern oder feinem Schlamme, die von obenher, „vom Tage“, ihren Weg hierher gefunden haben; der Entstehung nach sehr verschieden, sind aber diese Ausbildungsweisen durch die Art des äußern Auftretens eng miteinander verbunden und werden unter gemeinsamer Bezeichnung zusammengefaßt. Wie in der Entstehung, so treten uns auch in

den Dimensionen der Gänge außerordentliche Kontraste entgegen, denn während die einen dünne Bänke darstellen, zeigen andre ganz kolossale Mächtigkeit, so daß manche vulkanische Gesteinsgänge kleine Gebirgszüge selbständig zusammensetzen, wenn sie durch die zerstörende Wirkung der Gewässer von dem einschließenden Gesteinsmateriale befreit und bloßgelegt sind.

Wo geschichtetes Gestein durchbrochen und durchsetzt wird, schneiden die Gänge die Bänke desselben in der Regel unter wechselndem Winkel; bisweilen aber zwängt sich auch ein Gang wenigstens streckenweise zwischen zwei Schichten ein, er bildet einen „Lagergang“. Oft treten mehrere Gänge gesellig auf, wie sich dies am allerhäufigsten da findet, wo Lava das lose Aufschüttungsmaterial vulkanischer Aschen und Tuffe durchsetzt. Besonders beachtenswert sind die Fälle, wenn zwei Gänge einander schneiden, wobei dann oft der eine durch den andern auseinander gerissen und die beiden Trümmer des erstern gegeneinander verrückt, „verworfen“, sind; es ist dadurch mitunter möglich, das Altersverhältnis der verschiedenen Spalten zu bestimmen, indem „der Verwerfer“ natürlich jünger sein muß als der Gang, den er zerrissen hat (vgl. die Abbildung, S. 57, unten).

I. Physikalische Geologie.

1. Die Erde im Weltraume.

Inhalt: Der Fixsternhimmel. — Das Planetensystem. — Spektralanalyse. — Die Sonne. — Der Zustand der Gestirne. — Der Mond. — Vergangenheit und Zukunft der Erde. — Die Meteoriten — Zusammensetzung der Meteoriten.

Der Fixsternhimmel.

Die Aufgaben der Geologie beziehen sich auf die Erde und ihre Entstehung, auf die Beschaffenheit, Bildung und Lagerung ihrer Massen und auf die Veränderungen, welchen diese unterliegen. Die Thatsachen jedoch, welche uns das Studium der Erde selbst an die Hand gibt, reichen für sich allein nicht überall aus, um diese Fragen zu lösen, so daß wir uns vielfach genötigt sehen, zu deren Beantwortung den Vergleich mit benachbarten oder entfernten Himmelskörpern und die Resultate einer andern Wissenschaft, der Astronomie, zu Hilfe zu nehmen. Einen Begriff von der Entstehung der Erde bekommen wir nur durch die Kenntnis ihrer Stellung im Sonnensystem, und über die Zustände unsers Planeten in sehr weit entlegenen Zeitperioden belehrt uns am besten die Beschaffenheit solcher Gestirne, von denen gezeigt werden kann, daß sie sich jetzt in einem Entwickelungsstadium befinden, welches die Erde vor Äonen durchlaufen haben muß.

Unzählbar erscheint dem Auge die Menge der Sterne am nächtlichen Firmament. Man möchte glauben, daß es Hunderttausende von funkelnden Punkten seien, die uns erscheinen; dies ist jedoch eine Täuschung, und der Laie erstaunt in der Regel, wenn er erfährt, daß die Gesamtsumme der Sterne, welche für ein normales Auge am nördlichen Himmel sichtbar sind, nur etwa 3300, für ein außergewöhnlich scharfes und sehr geübtes Auge etwas über 5000 beträgt. Ganz kolossal allerdings ist die Steigerung, wenn man ein Teleskop zu Hilfe nimmt: die Zahl aller derjenigen Fixsterne, welche mit den gewaltigsten Instrumenten eben noch sichtbar sind, konnte zwar bis jetzt nicht festgestellt werden, aber nach ungefähren Schätzungen beläuft sie sich jedenfalls auf Hunderte von Millionen, ja nach einer allerdings wohl übertriebenen Annahme auf 1200 Millionen. Stellenweise sind dieselben so dicht gedrängt, daß der Astronom W. Herschel in der Nähe der Milchstraße an einer Stelle im Verlaufe von 41 Minuten etwa eine Viertelmillion Sterne durch das Gesichtsfeld seines mächtigen Reflektors ziehen sah.

Jeder dieser Fixsterne ist eine selbständige, mit eignem Lichte leuchtende Sonne, gleich der unsern und vielleicht, ja wahrscheinlich wie diese von Planeten umgeben. Die

Entfernungen, welche diese einzelnen Körper voneinander trennen, sind von einer Größe, von der sich unser Geist keinen Begriff mehr zu machen im stande ist. Der Abstand der Sonne von dem nächsten Fixsterne, von dem hell leuchtenden α im Sternbilde des Centauren, wird annähernd auf acht Billionen Meilen geschätzt, d. h. er ist 400,000mal so groß als derjenige der Erde von der Sonne. Das Licht, welches mehr als 40,000 Meilen in der Sekunde zurücklegt, braucht über $6^1/_2$ Jahre, um von dort zu uns zu gelangen, während der ununterbrochene Lauf des schnellsten Rennpferdes erst in mehr als 100 Millionen Jahren diese Distanz bewältigen würde. Die Entfernungen der übrigen Fixsterne sind bedeutend weiter und bei der großen Mehrzahl so ungeheuer, daß eine Bestimmung derselben gar nicht mehr möglich ist; man kann nur vermutungsweise annehmen, daß viele von ihnen Hunderte, ja selbst Tausende von Sternweiten (so bezeichnet man die Distanz von 4 Billionen Meilen) von der Sonne abstehen, so daß ihr Licht Jahrtausende braucht, um unsre Erde zu erreichen.

Wie riesig aber auch die Abstände der Fixsterne voneinander sein mögen, die Resultate der Astronomie ergeben doch, daß wir uns in einem Gebiete des Weltraumes befinden, in welchem die einzelnen Himmelskörper verhältnismäßig noch dicht gedrängt sind. Das ganze Firmament umzieht als ein größter Kreis, einem weiß leuchtenden Bande vergleichbar, die Milchstraße. Dem freien Auge erscheint sie von ziemlich gleichmäßiger Helle, jedoch mit Hilfe starker Teleskope sieht man, wie sie sich in ihren meisten Teilen in ein Haufwerk zahlloser dicht gedrängter, winzig kleiner Sternchen auflöst; für den Rest des Firmamentes aber zeigt es sich, daß die weitaus größte Menge der Sterne überhaupt und fast alle sehr hell leuchtenden Körper sich in der Nähe der Milchstraße befinden, während die von derselben entfernten Partien des Himmelsgewölbes sternarm sind. Diese Erscheinungen lassen sich sehr einfach durch die Annahme erklären, daß unser Planetensystem einen der zahllosen Bestandteile eines flach linsenförmigen Sternhaufens bildet. Sehen wir gegen die weit entfernte scharfe Kante der Linse, so erblicken wir ein undurchdringliches Gewühl von Sternen, die Milchstraße, welche uns demnach angibt, in welcher Lage die Linse sich befindet, während die sternarmen Räume fern von der Milchstraße uns die flachen Decken der Linse zeigen, in deren Richtung wir durch die dünnste Schicht unsers Sternhaufens hindurchsehen. Nach gewissen Anhaltspunkten hat man, allerdings nur in rohester Annäherung, finden zu können geglaubt, daß die äußerste Grenze der Linse an der nächsten Stelle 79, an der entferntesten 497 Siriusweiten von uns entfernt ist (eine Siriusweite gleich 20 Billionen Meilen).

Es ist bekannt, daß unsre Sonne nicht unveränderlich ihren Platz beibehält, sondern in einer rasch fortschreitenden Bewegung begriffen ist, von der wir jedoch fast nichts bemerken, weil die Erde ebenso wie alle Planeten diese Bewegung mitmacht. Erst die sorgsamste Beobachtung der kaum merklichen Ortsveränderung von Fixsternen ließ diese Thatsache erkennen und bewies, daß wir uns gegen das Sternbild des Herkules hin bewegen mit einer Geschwindigkeit, welche zwischen $2^3/_4$ und 7 Meilen in der Sekunde geschätzt wird. Wohl hat man in neuerer Zeit durch leichte Abweichungen gewisser farbiger Linien des Spektrums zu bestimmen begonnen, mit welcher Geschwindigkeit einige Fixsterne sich uns nähern oder sich von uns entfernen; aber selbst im günstigsten Falle erhalten wir dadurch nicht die Bewegung der Sonne, sondern nur die Kombination ihrer Geschwindigkeit mit derjenigen des beobachteten Sternes[1].

---

[1] Man hat z. B. berechnet, daß wir uns den Sternen Vega im Sternbilde der Leier um 11,24 Meilen, Atair im Adler 10,4 Meilen, Arkturos 13,75 Meilen, Pollux 12,25 Meilen in der Sekunde nähern, während wir uns von Kastor 7 Meilen, von Regulus im Löwen 3 – 4 Meilen, von Rigel im Orion 3,75 Meilen in der Sekunde entfernen (nach Huggins und Vogel).

In derselben Weise wie die Sonne haben auch die andern Fixsterne, soweit sich aus den bisherigen beschränkten Erfahrungen schließen läßt, eine Eigenbewegung. Mit Sicherheit dürfen wir annehmen, daß dieselbe nach den nämlichen Gesetzen der Mechanik erfolgt, welche den Umlauf der Planeten um die Sonne regeln; ob aber die Sonne und die Fixsterne geradlinige Bewegungen haben, oder ob sie, zu einem oder mehreren Systemen vereinigt, Kurven um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben, oder ob sie alle wieder um eine Zentralsonne kreisen, und ob wir diese in einem der Sterne der Plejaden im Sternbilde des Stieres zu suchen haben, wie vorgeschlagen worden ist, das sind Fragen, für deren Entscheidung wir noch kaum die allerentferntesten Anhaltspunkte besitzen.


Sternhaufe aus dem Sternbilde des Tukan (nach Peters).

Die Erde ist einer der kleinern Planeten der Sonne, welche selbst unter den vielen Millionen ihresgleichen nicht zu den bedeutendern zu gehören scheint. Zu einem winzigen Stäubchen schwindet unsre Wohnstätte herab, auf der wir leben, auf der sich die Interessen der Menschheit zusammendrängen, die uns in einer die Sinne bewältigenden Großartigkeit erscheint. Und doch dieser Sternhaufe selbst, in dem unser Planet ein verschwindendes Atom ist, er stellt uns kein Weltall vor, er ist wahrscheinlich selbst nur eins von zahllosen Systemen einer höhern Ordnung, die vielleicht wieder untereinander in einer Verbindung stehen wie die einzelnen Fixsterne um uns herum. Zwischen den flimmernden Punkten der Sterne erscheinen an zahlreichen Stellen des Firmamentes helle Lichtwölkchen, teilweise dem freien Auge sichtbar, der großen Mehrzahl nach erst mit dem Fernrohre erkennbar, die sogenannten Nebelflecke. Von vielen derselben hat man mit Hilfe sehr starker Teleskope erkannt, daß sie sich in eine Unzahl winzig kleiner Sternchen auflösen, welche dicht gedrängt stehen (vgl. obige Abbildung), und es wird dadurch wahrscheinlich, daß, wie Kant zuerst annahm, wenigstens viele dieser Nebelflecke nichts andres sind als selbständige Sternsysteme derselben Natur und vielleicht derselben Größe wie die Milchstraße mit allen ihren Fixsternen und unsrer Sonne. Hier bietet sich uns ein Ausblick von so unendlicher Großartigkeit, daß keine Vorstellung mehr genügt, um uns von diesen Dimensionen Rechenschaft zu geben.

Das Planetensystem.

Wie eine Rückkehr zu kleinlichen Verhältnissen erscheint es fast, wenn wir uns wieder zu unserm *Sonnensystem* wenden, in welchem es sich doch nur um Distanzen von Millionen Meilen handelt. Im Zentrum des Systems steht die *Sonne*, an Durchmesser und Masse nicht nur jedem einzelnen der *Planeten*, sondern sogar ihnen allen zusammen weitaus überlegen. Nach den Gesetzen der Schwere, wonach alle Körper im Verhältnisse ihrer Masse, ihres Gewichtes sich anziehen, zwingt die Sonne durch ihre gewaltige Überlegenheit alle Planeten, sie in ihren Bahnen zu umkreisen. Der Durchmesser der Sonne beträgt 187,000 deutsche Meilen, er ist also so groß, daß die Erde und der sie umkreisende Mond bequem in der ausgehöhlten Kugel Platz hätten, ja daß der Durchmesser der Mondbahn nicht viel mehr als die Hälfte des Sonnendurchmessers beträgt; die Masse der Sonne ist 323,000mal größer als diejenige der Erde.

Es würde uns zu weit ablenken, wenn wir hier auseinandersetzen wollten, in welcher Weise alle Bewegungen der Planeten eine einfache Folge des Gesetzes der Schwere sind, und wie diese Einsicht sich aus den Forschungen des großen *Newton* ergeben hat; wir können uns hier nur empirisch mit den Erscheinungen selbst befassen. Die Bewegung der Planeten um die Sonne findet (außer bei einigen kleinen Asteroiden) in wenig exzentrischen und gegen den Sonnenäquator wenig geneigten Ellipsen statt, nicht in Kreisen, wie bis auf *Kepler* angenommen wurde, und wie man selbst heute noch bisweilen hört; alle diese Ellipsen haben den einen ihrer beiden Brennpunkte, welcher im Mittelpunkte der Sonne liegt, miteinander gemein.

Wenn wir von dem noch sehr fraglichen intramerkuriellen (d. h. zwischen Sonne und Merkur befindlichen) Planeten absehen, so steht *Merkur* der Sonne am nächsten, mit einer mittlern Entfernung von dieser, welche 0,387 des Halbmessers der Erdbahn beträgt, mit einer Umlaufszeit von nahezu 88 Tagen, einem Durchmesser von 648 Meilen und einer Masse, die 1/14 der Erdmasse ausmacht. Dann folgen:

Venus mit einer mittlern Entfernung von der Sonne, welche 0,723 des Halbmessers der Erdbahn beträgt; Umlaufszeit etwa 224 Tage, Durchmesser 1613 Meilen, Masse = 0,8 der Erdmasse.

Die *Erde* mit einer mittlern Entfernung von der Sonne von ungefähr 20 Millionen Meilen, mit der Umlaufszeit von einem Jahr, einem Durchmesser von 1719 Meilen und einer Masse = 1/323,000 derjenigen der Sonne; sie ist von einem Trabanten, dem Monde, begleitet.

Mars mit einer mittlern Entfernung von der Sonne, welche 1,524mal größer ist als die der Erde, mit einer Umlaufszeit von etwa 687 Tagen, einem Durchmesser von 909 Meilen und einer Masse, die nur ungefähr 0,1 von derjenigen der Erde zu betragen scheint; nach den neuesten Entdeckungen ist Mars von zwei sehr kleinen Trabanten begleitet, welche ihn in sehr engen Bahnen umkreisen.

Während die Abstände der bis jetzt genannten Gestirne von der Sonne nach einem sehr einfachen Verhältnisse regelmäßig größer werden, finden wir zwischen Mars und dem nächsten der seit alter Zeit bekannten Planeten, Jupiter, eine große Lücke; der Zwischenraum zwischen beiden erscheint ungefähr so groß, als ob ein Glied des Systems hier fehlte. Längst war daher die Ansicht ausgesprochen worden, daß an dieser Stelle ein noch unentdeckter Planet existiere, und in der That wurde ein solcher am 1. Januar 1801 daselbst durch *Piazzi* gefunden, mit dem Namen *Ceres* belegt und durch *Gauß* berechnet. Er erwies sich als ein außerordentlich kleiner Körper von nur 50 Meilen Durchmesser und einer großen Achse der Bahn, welche 2,768 der entsprechenden Achse der Erdbahn beträgt;

die Umlaufszeit ist 1682 Tage. Bald aber überzeugte man sich, daß Ceres hier nicht allein stehe; es dauerte nicht lange, so wurden Pallas, Juno, Vesta in derselben Region zwischen Mars und Jupiter gefunden, und seitdem der Himmel systematisch und mit großem Eifer danach durchforscht wird, zeigen sich die Bemühungen von solchem Erfolge gekrönt, daß kein Jahr mehr vergangen ist, in welchem nicht eins oder mehrere dieser kleinen Gestirne konstatiert worden wären; ihre Zahl ist jetzt bereits auf ca. 250 gestiegen, und trotzdem ist es sehr wahrscheinlich, daß wir erst einen kleinen Teil dieser Körper kennen.

Wir sehen also, daß in dem Raume zwischen Mars und Jupiter eine große Menge kleiner Planeten kreist, die sogenannten Asteroiden. Der Durchmesser der größten unter ihnen, der Vesta und Ceres, wird auf etwa 50 Meilen geschätzt, während er bei dem kleinsten nicht einmal ganz 4 Meilen ausmacht. Die Masse konnte noch bei keinem bestimmt werden, doch ist so viel gewiß, daß sie alle zusammen nicht den vierten Teil des Gewichtes der Erde haben können. Die kürzeste Umlaufszeit eines Asteroiden um die Sonne beträgt nach den jetzigen Kenntnissen 1137, die längste 2867 Tage, während die Länge der großen Achsen zwischen 2,1 und 4 der großen Achse der Erdbahn schwankt.

Jenseit der Zone der Asteroiden folgen die großen Planeten, zunächst Jupiter, der Riese unter ihnen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 5,5mal, sein Durchmesser 11mal, seine Masse 334mal größer als die der Erde; seine Umlaufszeit beträgt 4332 Tage oder 11 Jahre und 314 Tage; er ist von vier Trabanten umgeben.

Saturn, mit einer mittlern Entfernung von der Sonne, welche mehr als neunmal so groß ist als die der Erde, vollendet seinen Umlauf in etwa 10,760 Tagen; sein Durchmesser ist 16,675 Meilen, seine Masse etwa 92mal so groß als die der Erde. Saturn hat acht Trabanten, die ihn umkreisen, und von denen der größte mit dem Planeten Mars wetteifern kann; besonders aber ist er durch den bekannten dreifachen Ring, welcher frei um den Äquator des Saturn schwebt, ausgezeichnet.

Uranus, mit einem Durchmesser von 8000 Meilen, mit einer Masse, welche 15mal so groß ist als die der Erde, vollendet seinen Umlauf um die Sonne in etwa 30,686 Tagen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 384 Millionen Meilen, ist also ungefähr 19mal so groß als die der Erde; er wird von vier Trabanten umgeben.

Neptun, nach unsern jetzigen Kenntnissen der äußerste Planet des Sonnensystems, ist seit 1846 bekannt. Seine Existenz wurde aus den Störungen gefolgert, welche die Bahn des Uranus erleidet, und von Leverrier berechnet; in der That ist Neptun auch an dem von diesem Gelehrten angegebenen Punkte am Firmamente gefunden worden. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist etwa 30mal so groß als die der Erde (ungefähr 600 Millionen Meilen), die Umlaufszeit beträgt ungefähr 164,5 Jahre; sein Durchmesser ist 4¹/₅mal, seine Masse 16mal größer als die der Erde; er hat einen Trabanten.

Eine große Anzahl von Planeten umkreisen also mit ihren Satelliten die Sonne, welche sämtlich durch eine Reihe äußerst wichtiger gemeinsamer Eigenschaften miteinander verknüpft sind. Sie alle bewegen sich um ihre Achse, wie auf ihrer Bahn um die Sonne, von Westen nach Osten, in derselben Richtung, in welcher sich auch die Sonne um ihre Achse dreht; sämtlich beschreiben sie in ihrem Umlaufe um den Zentralkörper Ellipsen, welche sehr wenig exzentrisch sind, also von einem Kreise nicht bedeutend abweichen, und endlich sind ihre Bahnen nur wenig gegeneinander und gegen den Äquator der Sonne geneigt. Diese auffallenden Thatsachen machen die Annahme einer gemeinsamen Ursache der genannten Erscheinungen und eines gemeinsamen Ursprunges aller Körper des Planetensystems in hohem Grade wahrscheinlich. Einer der gewaltigsten Geister aller Zeiten, Kant, hat darauf seine berühmte Theorie der Entstehung des Planetensystems gegründet, die jetzt von der großen Mehrzahl aller Forscher als richtig angenommen wird.

Nach ihm bildete ursprünglich die ganze Masse unsers Sonnensystemes eine einheitliche, rotierende Gasmasse, von der sich endlich infolge ihrer Zusammenziehung und Abkühlung einzelne Teile an den Rändern loslösten und sich zu den Planeten und ihren Trabanten entwickelten, während als Hauptmasse im Zentrum die Sonne zurückblieb.

Diese Anschauungen Kants hatten sich anfangs keiner allgemeinen Anerkennung zu erfreuen; sie erfolgte erst, als Laplace 40 Jahre später, und offenbar ohne von den Ideen seines Vorgängers Kenntnis zu haben, dieselbe Theorie mit sehr ähnlicher Begründung entwickelte.

Seitdem haben sich die astronomischen Entdeckungen außerordentlich gemehrt; Uranus und Neptun und das Heer der Asteroiden sind gefunden worden, welche alle dieselbe Bewegung von Westen nach Osten besitzen, und damit ist die Wahrscheinlichkeit der Kant-Laplaceschen Theorie bedeutend gestiegen. Wir nehmen also jetzt an, daß die Sonne und alle ihre Planeten ursprünglich eine einzige Masse bildeten, welche infolge ihrer außerordentlichen Hitze dampfförmig war, sich bis über die Bahn des Neptun hinaus erstreckte und sich später auf das jetzige Volumen des Sonnenkörpers zusammenzog. Bei diesem Prozesse kühlten sich die äußern Schichten des rotierenden Dunstballes rascher ab, zogen sich infolgedessen stärker zusammen und trennten sich dadurch von dem Hauptkörper zunächst als Ringe, die dann zerrissen und zu Planeten wurden.

Ist es gestattet, diese Anschauungsweise noch weiter auszudehnen und zu denken, daß dieselbe Art der Entstehung wie für unser Planetensystem auch für den ganzen Sternhaufen der Milchstraße anzunehmen sei? Ist auch dieser durch die Auflösung einer ungeheuern ursprünglichen Nebelmasse entstanden? Der Analogieschluß, daß dem so gewesen sei, liegt nahe, allein unsre Kenntnis der thatsächlichen Verhältnisse, der Bewegungen der Fixsterne ist so gering, daß eine Entscheidung schwer fällt; doch finden wir in der Spektralanalyse ein Mittel, das einige Aufschlüsse über diese Frage gibt.

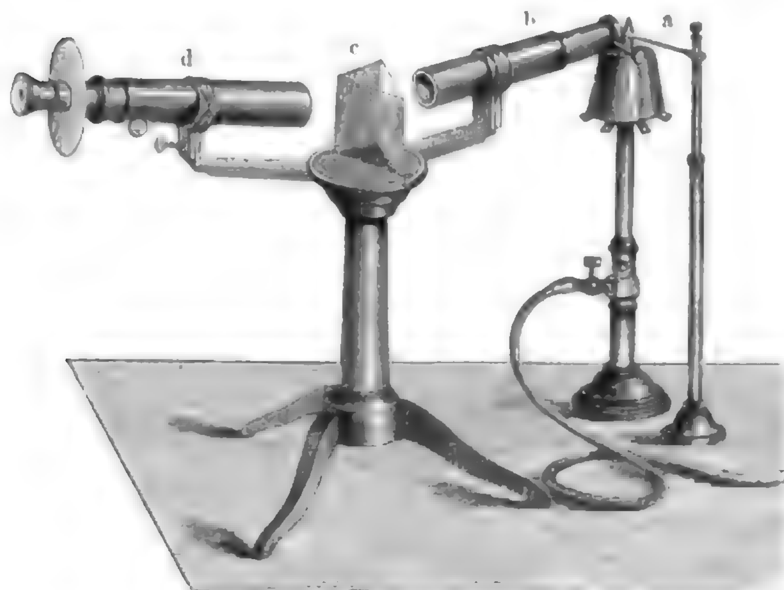
Da die Kantsche Theorie die Entstehung unsers Sonnensystemes, die Bildung des Zentralkörpers und seiner Planeten, auf die Zerteilung einer einzigen ursprünglichen Nebelmasse zurückführt, so müssen nach dieser Auffassung die Sonne und die Planeten aus denselben Stoffen bestehen; wir kennen zunächst die chemischen Elemente, welche auf der Erde vorkommen, und müssen demnach annehmen, daß dieselben auch auf der Sonne und den sie umkreisenden Gestirnen wiederkehren. Gelingt der Nachweis, daß dem thatsächlich so ist, so wird dies eine glänzende Bestätigung der Kantschen Hypothese darstellen, und wenn man weiter zeigen kann, daß unsre irdischen Grundstoffe auch auf fernen Fixsternen vorhanden sind, so muß diese Beobachtung der Annahme große Wahrscheinlichkeit verleihen, daß die Fixsterne zu einander und zur Sonne in einem ähnlichen Verhältnisse stehen wie die einzelnen Teile unsers Planetensystemes unter sich, d. h. daß auch sie alle der Zerteilung einer ungeheuern kosmischen Nebelmasse ihre individuelle Existenz verdanken.

Spektralanalyse.

Noch vor einigen Dezennien wäre es für eitle Träumerei gehalten worden, wenn jemand von der Möglichkeit gesprochen hätte, die Materie der Sonne oder gar der unendlich weit entfernten Fixsterne einer chemischen Analyse zu unterziehen. Es gehört zu den schönsten Errungenschaften des menschlichen Geistes, die Schranken, welche die Entfernung von Millionen Meilen einer solchen Untersuchung scheinbar unüberwindlich entgegensetzte, durchbrochen zu haben, und die Auffindung der Methode, welche dies ermöglichte, der Spektralanalyse, bildet ein unvergängliches Verdienst ihrer Entdecker, der beiden Heidelberger Forscher Bunsen und Kirchhoff.

Wir vermögen natürlich kein Material von den Gestirnen zu holen, um es mit chemischen Reagenzien einer unmittelbaren Prüfung zu unterziehen; nur das Licht, welches sie uns zusenden, können wir untersuchen und aus seiner Beschaffenheit auf die Körper schließen, von denen es strömt, oder die es durchdrungen hat. Über diese geben uns aber die Strahlen, welche zu uns kommen, ebenso sichern Aufschluß wie die Reaktionen, die man im Laboratorium durch Auflösung und Fällung oder mit dem Lötrohre erzielt.

Unter „Brechung des Lichtes“ versteht man die Ablenkung, welche dasselbe von seiner geraden Richtung erleidet, wenn es auf seinem Wege von einem durchsichtigen Medium in ein andres, davon verschiedenes eintritt. Dringt z. B. ein Lichtstrahl aus der Luft in Glas oder Wasser, so weicht derselbe von seiner ursprünglichen Direktion ab, wie es die jedermann bekannte Thatsache lehrt, daß ein Stock, den man ins Wasser steckt, an der Stelle geknickt erscheint, an welcher er in dasselbe eintaucht. Newton hat zuerst gezeigt, daß „Lichtstrahlen von verschiedener Farbe auch von verschiedener Brechbarkeit sind“. Betrachtet man z. B. durch ein dreiseitiges gläsernes Prisma Lichtstrahlen von verschiedener Farbe, so sieht man, daß die Beträge, um welche dieselben dabei abgelenkt, um die sie gebrochen werden, sehr bedeutend abweichen. Rotes Licht wird stets am wenigsten gebrochen, Orange etwas mehr, Gelb, Grün, Blau der Reihe nach immer stärker, bis wir bei Violett die energischste Ablenkung bemerken. Bekanntermaßen besteht das reine weiße Licht aus zahlreichen verschiedenfarbigen Strahlen, welche nach dem Durchgange durch ein dreiseitiges Prisma von farblosem Glase nebeneinander erscheinen. Läßt man dieselben auf eine weiße Fläche fallen, so erscheint ein breiter bunter Streifen in den bekannten Regenbogenfarben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, in welche demnach das weiße Licht zerlegt ist; man nennt dies das „Spektrum“ desselben.



Spektralapparat.
a Bunsenscher Gasbrenner; b Rohr mit Sammellinse; c Prisma; d Fernrohr.

Die Zerlegung durch ein dreiseitiges Prisma gibt nun die Möglichkeit, jede Lichtart genau auf ihre Zusammensetzung zu prüfen; man benutzt zu derartigen Untersuchungen ein Instrument, den Spektralapparat oder das Spektroskop, dessen Einrichtung die Erscheinung in möglichster Reinheit zur Darstellung bringt. In seiner einfachsten Form ist dasselbe so eingerichtet, daß das Licht durch einen feinen Spalt in ein Rohr eintritt und aus diesem durch eine Sammellinse auf eine Fläche des im Zentrum des Apparates befindlichen Prismas geworfen wird; auf der andern Seite des Prismas ist ein Fernrohr so angebracht, daß durch dasselbe das austretende gebrochene Licht, das Spektrum, unmittelbar beobachtet werden kann (s. obenstehende Abbildung). Diese wenig komplizierte Einrichtung wird nun in sehr verschiedener und verwickelter Weise modifiziert; man wendet statt des einen mehrere hintereinander liegende Prismen an, um dadurch eine sehr starke Brechung hervorzurufen; man hat ferner Vorkehrungen getroffen, um zwei verschiedene Lichtarten gleichzeitig beobachten und miteinander vergleichen zu können 2c.

Betrachtet man das Licht, welches die verschiedensten festen und flüssigen Körper im Zustande der Weißglut ausstrahlen, durch den Spektralapparat, so findet man, daß dasselbe in allen Fällen ganz gleich ist und ein vollständiges und ununterbrochenes (kontinuierliches) Spektrum durch alle Farben liefert. Den vollständigsten Gegensatz sehen wir bei der Untersuchung glühender Gase: wir finden hier nur einzelne helle Streifen und Bänder, die durch dunkle Flächen voneinander getrennt sind; statt der Gleichartigkeit herrscht die größte Mannigfaltigkeit, indem jedes Gas sein eignes, sich gleichbleibendes, aber von dem aller übrigen total verschiedenes Spektrum zeigt. Wir besitzen demnach hier ein Mittel, die chemische Natur von Gasen und Dämpfen einfach aus der Betrachtung ihres Lichtes durch das Prisma zu erkennen, und haben damit das Grundprinzip der Spektralanalyse.

Körper, von denen man sehr leicht glühende Dämpfe erhält, und von denen Bunsen und Kirchhoff bei ihren klassischen Untersuchungen vielfach ausgingen, sind die sogenannten Metalle der Alkalien und alkalischen Erden, wie Kalium, Natrium, Lithium, Calcium, Strontium, Baryum. Man bringt einfach eine Spur von Salzen dieser Metalle an die Spitze eines sehr feinen Platindrahtes und setzt diese der nicht leuchtenden Flamme eines „Bunsenschen Gasbrenners" aus, welcher dicht vor dem feinen Spalte eines Spektroskopes steht; sofort färbt sich die Flamme, und man sieht die charakteristischen Streifen der Metalldämpfe durch das Fernrohr des Apparates.

Benutzt man zu diesem Experiment eine Natriumverbindung, z. B. das gewöhnliche Kochsalz (Chlornatrium), so erscheint in schwächern Instrumenten eine leuchtende gelbe Linie, die von stärkern in eine Doppellinie zerlegt wird. Diese Reaktion ist von unvergleichbarer Feinheit, indem durch dieselbe noch der dreimillionste Teil eines Milligrammes Natrium nachgewiesen werden kann, eine Schärfe, mit welcher sich keine andre chemische Methode zu messen im stande ist; es genügt, neben dem Bunsenschen Brenner des Spektralapparates in die Hände zu klatschen, um die gelbe Natriumlinie hervorzurufen, da der Schweiß der Handfläche Kochsalz enthält, von welchem durch den Schlag eine Spur verstäubt wird und in die Flamme gelangt. Lithium, ein in der Natur sehr verbreiteter, aber meist in äußerst geringen Mengen vorkommender Körper, zeigt eine schwache gelbe und eine sehr hell leuchtende rote Linie; auch hier ist die Reaktion ungemein scharf und gestattet den Nachweis von sehr geringen Spuren. Manche Mineralwässer, welche zur Kur getrunken werden, enthalten Lithiumsalze, und es genügt, den Schweiß während des Spazierganges nach dem Genusse des Wassers mit einem Stückchen Fließpapier abzuwischen, um an der Asche desselben die rote Lithiumlinie zu erkennen. Die außerordentliche Präzision des beschriebenen Verfahrens hat sogar den Chemikern gestattet, damit einige Elemente zu entdecken, die wegen der geringen Menge, in welcher sie vorzukommen pflegen, der Aufmerksamkeit bis dahin entgangen waren; so fand Bunsen sehr schnell zwei dem Kalium verwandte Metalle, die er als Cäsium und Rubidium bezeichnete; später folgten das Thallium, Indium, Gallium und einige andre, welche alle auf diesem Wege zu unsrer Kenntnis gelangt sind.

Wir haben bis jetzt zwei verschiedene Arten von Spektren kennen gelernt, das kontinuierliche, wie es feste oder flüssige Körper in der Weißglut erzeugen, und das aus einzelnen leuchtenden Streifen bestehende, welches die glühenden Gase abgeben. Eine dritte Art tritt uns entgegen, wenn wir das Licht der Sonne durch ein Prisma betrachten. Dem freien Auge gibt sich dabei allerdings kein Unterschied gegen ein kontinuierliches Spektrum zu erkennen, allein bereits mit einem schwachen Fernrohre entdeckt man in dem Sonnenspektrum einzelne schwarze Linien, und beim Gebrauche sehr starker Instrumente zeigt sich, daß dasselbe von einer ungeheuern Menge solcher durchzogen ist. Nachdem schon Wollaston diese Erscheinung bemerkt hatte, wurde sie zu Anfang unsers Jahrhunderts einer genauen Untersuchung durch Fraunhofer in München unterzogen, welcher die

auffallendsten unter jenen Linien mit den Buchstaben des lateinischen Alphabets von A bis H benannte und zwischen diese eine bedeutende Anzahl andrer einzeichnete. Er zeigte weiter, daß auch im Spektrum des Mondes und der Venus dieselben Linien wie in dem der Sonne auftreten, daß dagegen das Licht der Fixsterne zwar ebenfalls dunkle Linien aufweist, daß diese aber nicht alle mit denen der Sonne übereinstimmen.

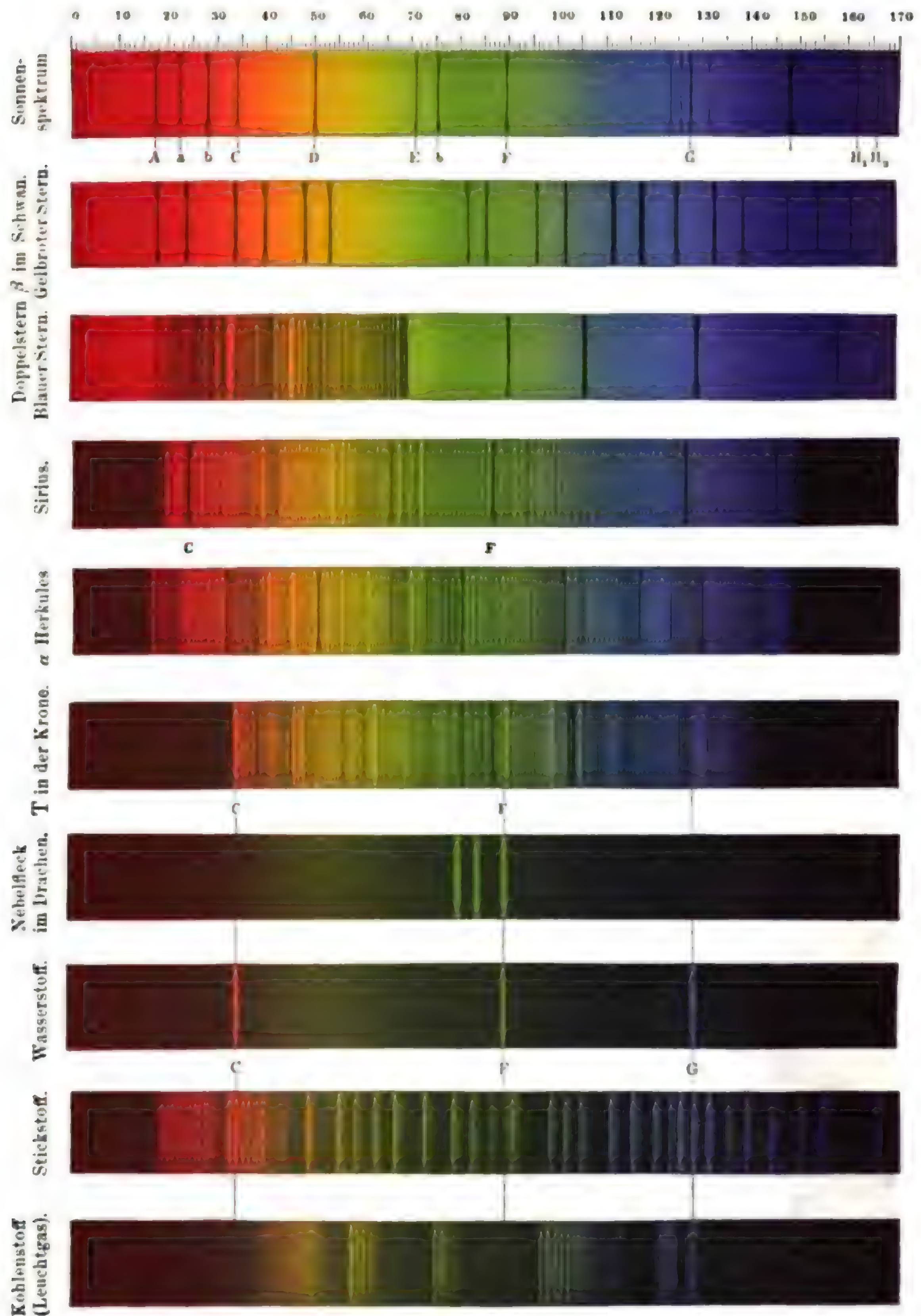
Fraunhofer hatte auch schon beobachtet, daß die dunkle Linie des Sonnenspektrums, welche er mit D bezeichnet hatte, genau dieselbe Lage hat wie die gelbe Linie der glühenden Natriumdämpfe; allein diese wichtige Bemerkung wurde wenig beachtet, bis sie mehr als 40 Jahre später den Ausgangspunkt für die denkwürdigen Untersuchungen von Kirchhoff bildete. Nachdem dieser sich von der wirklich vollkommenen Übereinstimmung der Fraunhoferschen D-Linie mit der Natriumlinie vergewissert hatte, versuchte er eine Erklärung. Es ist bekannt, daß eine schwach leuchtende Flamme selbst einen Schatten wirft, wenn sie vor einer sehr intensiven Lichtquelle steht; stellt man z. B. eine brennende Kerze vor ein elektrisches Licht, so erzeugt die Flamme der Kerze ebenso gut einen Schatten wie die Kerze selbst. Kirchhoff stellte nun unmittelbar vor den Spalt eines Spektralapparates eine schwach leuchtende Natriumflamme und hinter diese ein sehr intensives weißes Licht, so daß dessen Strahlen die Natriumflamme passieren mußten, um auf das Prisma zu gelangen; in der That trat ein, was der Gelehrte vorausgesetzt hatte: es erschien ein vollständig kontinuierliches Spektrum, in welchem sich nur im gelben Teile eine schwarze Doppellinie genau an der Stelle zeigte, wo die helle Natriumlinie oder die D-Linie des Sonnenspektrums zu stehen käme. Weiter schob Kirchhoff statt der Natriumflamme eine schwache Lithiumflamme zwischen den Spalt des Spektroskopes und das intensive weiße Licht; sofort traten die Lithiumlinien schwarz hervor, und dasselbe war der Fall bei allen Körpern, die in dieser Weise untersucht wurden. Es ist eine „Umstürzung“ des Spektrums, indem diejenigen Linien, welche eine schwache Flamme leuchtend zeigt, sofort schwarz erscheinen, wenn man hinter derselben intensives weißes Licht aufstellt; sie absorbiert nun aus diesem diejenigen Lichtarten, welche sie sonst ausstrahlt. Daraus konnte gefolgert werden, daß jedes Gas seine hellen Linien in dunkle verwandelt, wenn durch dasselbe Strahlen einer Lichtquelle gehen, die hinreichend hell ist und für sich ein kontinuierliches Licht erzeugt.

Wenden wir diese Erfahrungen auf die Sonne an, so ergibt sich offenbar, daß deren Körper weißglühend ist und ein kontinuierliches Spektrum gibt, daß aber die Strahlen desselben, ehe sie die Erde erreichen, durch Gase hindurchgehen, welche die für sie charakteristischen Lichtarten absorbieren oder auslöschen und so die Fraunhoferschen Linien erzeugen. Diese Absorption kann nun an zweierlei Stellen vor sich gehen, nämlich während die Strahlen des Sonnenkörpers die Sonnenatmosphäre und während sie die Erdatmosphäre passieren. Einerseits sehen wir, daß gewisse Gruppen von Linien des Abends, also wenn das Sonnenlicht eine dickere Schicht der Erdatmosphäre durchdringen muß, um zu uns zu gelangen, weit stärker hervortreten als am Mittag, und diese entstehen offenbar durch Absorption während des Durchtrittes durch die Luft, es sind irdische Linien. Andre dagegen werden von der Tageszeit nicht beeinflußt, sie müssen ohne Zweifel der Sonnenatmosphäre zugeschrieben werden.

Auf diese Weise konnte das Vorhandensein einer Anzahl bekannter Grundstoffe in der Sonnenatmosphäre rasch und leicht nachgewiesen werden, z. B. Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen, Wasserstoff und mehrere andre; aber eine erschöpfende Behandlung setzt unendlich mühevolle und schwierige Studien voraus, vor allem ist eine überaus sorgsame Verzeichnung der Fraunhoferschen Linien notwendig. Kirchhoff und Angström haben diese Arbeit mit großer Präzision gemacht, sie konnten mit ihren Apparaten eine sehr große Anzahl von Linien bestimmen; aber gleichzeitig sah man, daß stärkere Instrumente eine weit größere Menge derselben zeigen würden, die zu erforschen der englische Physiker

Spektren der Fixsterne und Nebelflecke,

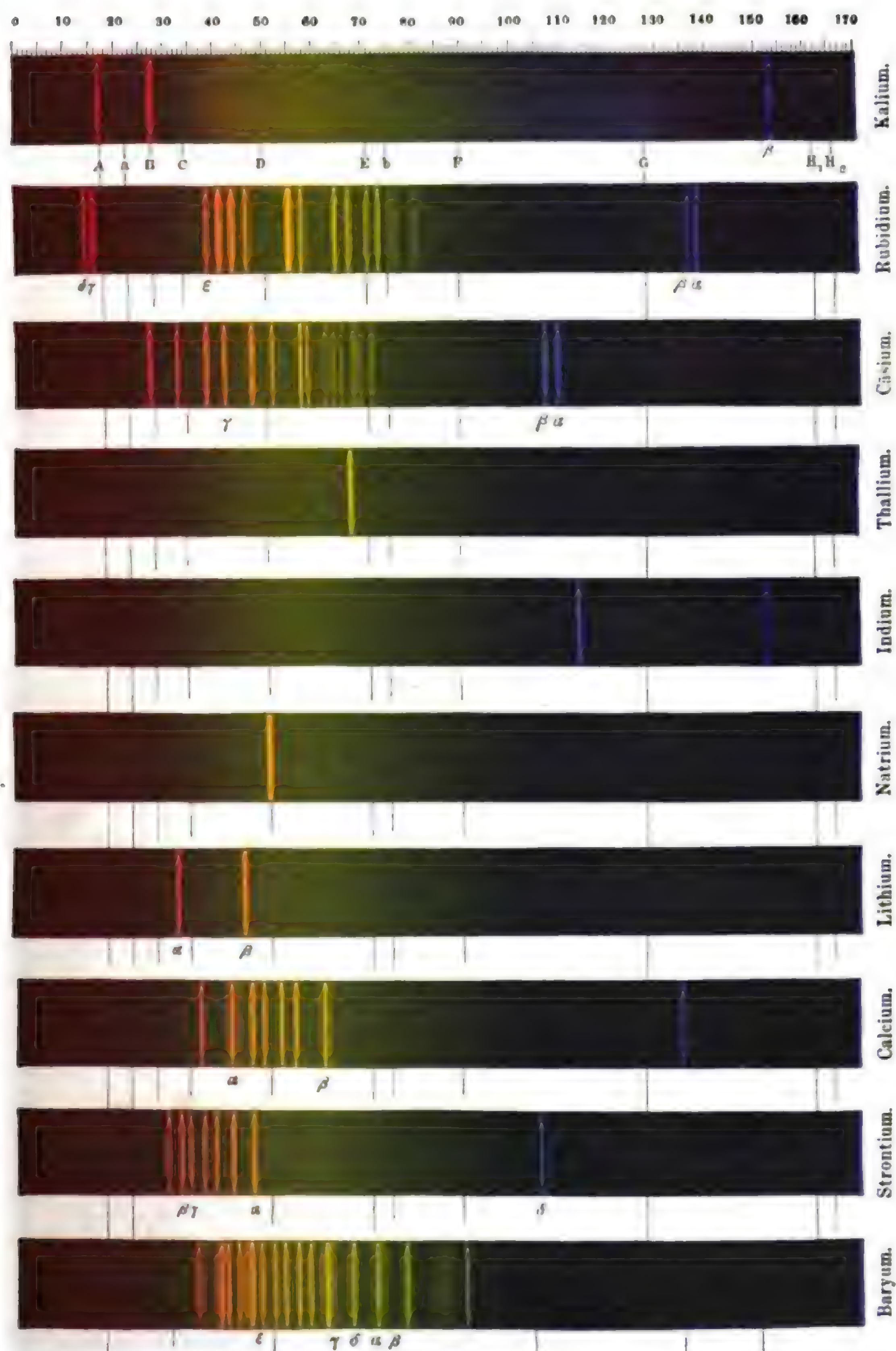
verglichen mit dem Sonnenspektrum und den Spektren einiger Nichtmetalle.



analyse.

Spektren der Alkali- und Erdalkali-Metalle.

Nach Bunsen und Kirchhoft.



Lockyer unter Anwendung der besten bis jetzt konstruierten Instrumente unternommen hat. Seit einer längern Reihe von Jahren ist er mit ihrer Beobachtung und dem Vergleiche mit den Spektrallinien irdischer Körper beschäftigt; die Resultate werden in eine riesige Abbildung des Sonnenspektrums von 115 m Länge eingetragen, welche groß genug ist, um die kolossale Menge der Details und der Beobachtungen, deren in den ersten vier Jahren der Arbeit über 100,000 gemacht wurden, aufzunehmen[1].

Wir kennen jetzt mehr als die Hälfte der irdischen Elemente als Bestandteile der Sonne. Was vor allem auffällt, ist die außerordentlich geringe Vertretung der nichtmetallischen Körper, von denen nur der Wasserstoff mit voller Sicherheit bestimmt ist, während Sauerstoff, Stickstoff, Brom, Schwefel und Silicium noch der Bestätigung bedürfen. Ob die übrigen vorhanden und nur schwer zu beobachten sind, so daß auch ihre Entdeckung mit der Zeit noch zu erwarten ist, oder ob sich kein Anzeichen ihres Vorhandenseins im Sonnenspektrum findet, das sind Fragen, welche wir heute nicht beantworten können, und deren Lösung der Zukunft überlassen bleiben muß. Die Metalle sind in der Sonnenatmosphäre ziemlich vollständig vertreten; nur fällt die verhältnismäßig geringe Menge der Edelmetalle auf, von deren irdischen Hauptvertretern Gold, Silber und Quecksilber zu fehlen scheinen.

Anderseits gibt es eine beträchtliche Menge von Fraunhoferschen Linien, unter ihnen gerade einige der stärksten, welche in den Spektren irdischer Körper bisher nicht gefunden worden sind. Es geht daraus hervor, daß auf der Sonne Stoffe in großer Verbreitung vorkommen, die wir auf der Erde noch nicht kennen (vgl. die beigeheftete Tafel „Spektralanalyse").

Die Planeten haben kein oder nur sehr schwaches eignes Licht, sie werfen uns dasjenige der Sonne zurück. Wenn wir demnach einen Planeten durch das Prisma beobachten, so erhalten wir das Sonnenspektrum, jedoch mit der Änderung, daß durch die Atmosphäre des Planeten einige Strahlen absorbiert werden und die Zahl der dunkeln Linien sich etwas erhöht. Für Venus und Mars ist auf diese Weise eine Atmosphäre nachgewiesen, welche der Hauptsache nach dieselbe ist wie die der Erde; auch Jupiter zeigt eine solche, worin namentlich Wasserdampf eine sehr große Rolle spielt, daneben finden sich aber hier noch Linien, die vorläufig nicht sicher gedeutet und auf irdische Stoffe bis jetzt nicht bezogen werden können, und ähnlichen Verhältnissen begegnen wir bei Saturn. Unser Mond dagegen, der keine oder nur Spuren einer Atmosphäre besitzt, verändert das Sonnenspektrum gar nicht.

War die Ausbeute der spektroskopischen Untersuchungen bei den Planeten wegen des Mangels an kräftigem eignen Lichte keine sehr ergiebige, so ist das Resultat um so bedeu-

---

[1] Bis jetzt konnten von den irdischen Grundstoffen die folgenden teils mit Sicherheit, teils mit Wahrscheinlichkeit in der Sonnenatmosphäre nachgewiesen werden:

1. Sauerstoff	11. Rubidium	21. Didym	31. Kupfer
2. Wasserstoff	12. Indium	22. Yttrium	32. Blei
3. Stickstoff	13. Baryum	23. Erbium	33. Zinn
4. Brom	14. Strontium	24. Mangan	34. Titan
5. Schwefel	15. Calcium	25. Eisen	35. Wismut
6. Silicium	16. Magnesium	26. Chrom	36. Uran
7. Kalium	17. Aluminium	27. Kobalt	37. Molybdän
8. Natrium	18. Beryllium	28. Nickel	38. Vanadium
9. Lithium	19. Cerium	29. Zink	39. Platin
10. Cäsium	20. Lanthan	30. Cadmium	40. Palladium

41. Iridium.

Die Anwesenheit von Sauerstoff wird von Draper bestimmt, von Young als wahrscheinlich angegeben, von Lockyer geleugnet; die Anwesenheit von Stickstoff, Brom, Platin ist nach Young, der seine Beobachtung der reinern Luft wegen auf einer 8300 Fuß hohen Station in Wyoming (Nordamerika) anstellte, ebenfalls nur wahrscheinlich, nicht gewiß, und noch einige andre sind zweifelhaft.

tender, wenn wir uns den Fixsternen zuwenden. Nach Secchi lassen sich unter den Fixsternen nach ihrem Spektrum vier Haupttypen unterscheiden, die durch einzelne Zwischenglieder miteinander verbunden sind. Den ersten und häufigsten Typus bilden die weißen oder richtiger leicht bläulichen Sterne, zu welchen etwa die Hälfte aller Fixsterne gehört; Sirius, Wega in der Leier, Atair im Adler, Regulus im Löwen, Rigel im Orion, die leuchtenden Sterne des Großen Bären (mit Ausnahme von α) sind auffallende Beispiele dieser großen Gruppe. Sie zeigen bedeutende Abweichungen von der Sonne; ein kontinuierliches, durch alle Farben sich erstreckendes Spektrum liegt auch hier vor, aber statt der außerordentlich großen Menge der Fraunhoferschen Linien sind z. B. im Spektrum des Sirius und seiner Genossen nur vier sehr starke dunkle Linien vorhanden, die sämtlich dem Wasserstoffe entsprechen, und neben ihnen finden sich nur einzelne sehr schwer sichtbare Streifen, die auf die Anwesenheit von Magnesium, Eisen und Natrium deuten. Es ist also eine recht geringe Anzahl von Stoffen, welche hier bestimmt werden konnten, und zwar gerade solche, die auch auf der Sonne (namentlich in ihren äußern Partien) ganz besonders stark vertreten sind.

Die größte Übereinstimmung mit unsrer Sonne zeigt Secchis zweiter Fixsterntypus, welcher die gelben Sterne umfaßt. Capella im Fuhrmanne, Pollux in den Zwillingen, Arkturos im Bootes, Aldebaran im Stiere, α des Großen Bären, Procyon im Kleinen Hunde sind die schönsten Repräsentanten dieser Kategorie. Selbstverständlich ist es nicht möglich, an dem lichtschwachen Spektrum eines entfernten Fixsternes dieselbe ungeheure Zahl von Linien zu beobachten wie bei der Sonne; immerhin aber sind dieselben dicht gedrängt und stimmen im wesentlichen genau mit den auffallendsten Linien der Sonne überein.

Die einzelnen Stoffe, welche in den gelben Sternen durch die Spektralanalyse erkannt werden konnten, sind der Hauptsache nach solche, die in der Sonne stark vorherrschen: Wasserstoff, Natrium, Magnesium, Eisen, Calcium, Antimon, Chrom, Baryum, Mangan; daneben treten auch insofern Unterschiede auf, als mehrere auf der Sonne äußerst spärlich oder noch gar nicht nachgewiesene Elemente auf manchen gelben Sternen eine sehr große Rolle spielen, z. B. Wismut, Tellur, Quecksilber und vielleicht Silber. Auch der Typus der gelben Sterne ist sehr reichlich am Himmel vertreten, und ihre Zahl beträgt nach den bisherigen Untersuchungen etwa ein Drittel der Gesamtheit.

Weit spärlicher treten die Gestirne des dritten Secchischen Typus auf, während diejenigen der vierten Kategorie entschieden selten sind. Diese beiden Abteilungen umfassen Sterne von rotem Lichte; ihr Spektrum zeigt dunkle Linien, von denen die stärkern mit solchen gelber Sterne zusammenfallen; daneben erscheinen nebelige und verwaschene Streifen, besonders aber ist das Vorhandensein einer großen Anzahl dunkler Bänder zu bemerken, welche wie eine Säulenreihe das ganze Spektrum durchziehen und bei Sternen des dritten Typus gegen das violette Ende des Spektrums scharf begrenzt, gegen das rote Ende zu verwaschen sind, während bei dem vierten Typus das entgegengesetzte Verhältnis stattfindet.

Die bedeutenden Unterschiede im Spektrum lassen auf wesentliche Abweichungen in der Beschaffenheit dieser Sterne von derjenigen der früher besprochenen schließen; wohl finden sich manche der allgemein verbreiteten Stoffe, allein schon darin sehen wir einen bemerkenswerten Umstand, daß wenigstens einzelnen Angehörigen des dritten Typus der Wasserstoff, der sonst überall die erste Rolle spielt, zu fehlen scheint. Die bedeutendste Eigentümlichkeit, welche uns über die Art der Abweichungen wichtige Aufschlüsse gibt, ist das Auftreten der „Kolonnaden", säulenförmiger dunkler Streifen. In den Spektren von einfachen elementaren Körpern finden sich solche nie, wohl aber in denjenigen chemischer Verbindungen. Nun wissen wir aber, daß diese bei den höchsten Hitzegraden nicht existieren können, sondern in ihre Elemente zerfallen; so wird Wasser bei sehr intensiver Glut in Wasserstoff und

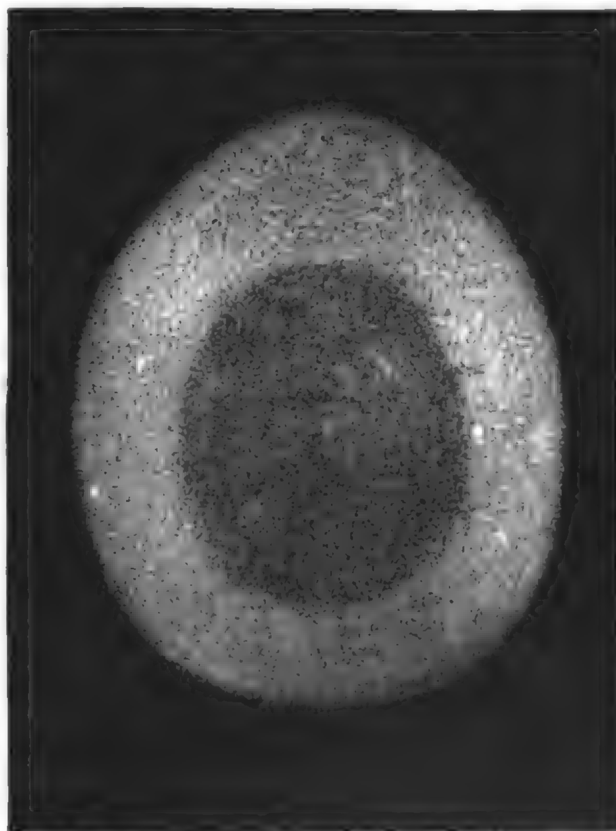
Sauerstoff zerlegt, und in derselben Weise geht unter den gleichen Bedingungen auch die „Dissociation“ der andern chemischen Verbindungen vor sich. Wir werden also daraus schließen können, daß auf diesen roten Sternen eine weit niedrigere Temperatur herrscht als auf den weißen und gelben, daß sie sich schon in dem kalten Weltraume weiter abgekühlt haben, bis zu einem Grade, welcher die Existenz chemischer Verbindungen gestattet.

Die Sonne.

In den allgemeinsten Umrissen zeigt uns die Kantsche Theorie jene Phasen, welche die Erde durchlaufen haben muß, ehe sie ihre heutige Beschaffenheit annehmen und zur



Spiralnebel aus dem Orion. Vgl. Text, S. 72.



Ringnebel aus der Leier. Vgl. Text, S. 72.

Wohnstätte organischer Wesen werden konnte. Es wäre jedoch kaum möglich, sich von den verschiedenen Entwickelungsperioden auch nur annähernd eine Vorstellung zu machen, wenn wir nicht bei einem derartigen Versuche durch die Beobachtungen an andern Himmelskörpern unterstützt würden. Viele von diesen legen denselben oder einen ähnlichen Entwickelungsgang teils langsamer, teils schneller zurück und führen uns daher die verschiedenen Phasen vor Augen, welche die Erde entweder schon durchlaufen hat, oder welche derselben noch bevorstehen.

Für die frühste und ursprünglichste Epoche können wir nur bei den Nebelflecken nach einem Vergleichspunkte suchen. Ein Teil von diesen löst sich, durch kräftige Teleskope beobachtet, in eine große Menge einzelner Sternchen auf; aber andre finden sich, welche, selbst mit den stärksten Instrumenten betrachtet, noch als Nebel erscheinen, und diese letztern Vorkommnisse sind großenteils dadurch ausgezeichnet, daß sie, durch das Prisma betrachtet, nicht ein zusammenhängendes Spektrum mit einzelnen dunkeln Streifen, sondern auf dunklem Grunde nur einzelne helle Linien liefern. Diese Nebelflecke bestehen demnach lediglich

aus glühenden Gasen, unter welchen nach der Lage der Linien Stickstoff, nächstdem Wasserstoff vorherrschen.

In einem derartigen Zustande muß die gewaltige Gasmasse gewesen sein, aus welcher die Sonne und die Planeten sich individualisierten. Besonders interessant ist der Vergleich mit solchen Nebelflecken, deren Form Anzeichen einer mächtigen Rotationsbewegung erkennen läßt, wie z. B. der Spiralnebel im Orion (s. S. 71) und derjenige im Sternbilde der Jagdhunde (s. untenstehende Abbildung), in welchem um einen hellern Kern spiralförmig angeordnete Nebelstreifen lagern; ferner mit solchen Gebilden, welche ringförmige Gestalt haben und bisweilen in der Mitte des Ringes einen Stern zeigen (s. S. 71, Ringnebel aus der Leier). Offenbar haben wir es hier mit Gasmassen zu thun, die im Begriffe stehen, sich unter der Wirkung der Zentrifugalkraft in einer Weise zu zerteilen, wie dies bei unserm Sonnensysteme vor Äonen geschehen ist.



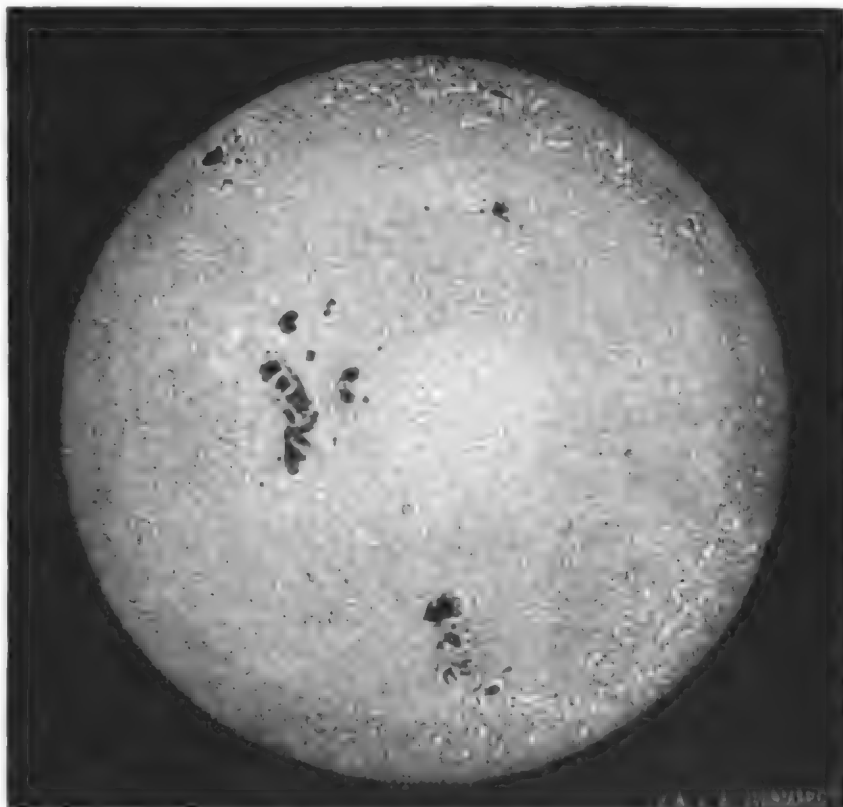
Spiralnebel aus den Jagdhunden.

Phasen, welche die Erde weit später durchlaufen hat, sehen wir in dem jetzigen Zustande der Fixsterne und der Sonne repräsentiert. Die weißen Sterne des ersten Secchischen Typus, deren Spektren vorwiegend die Linien des Wasserstoffes und daneben wenige Metalllinien dunkel auf hellem Grunde zeigen, stellen offenbar das erste Stadium im Prozesse der Abkühlung dar. Weiter vorgeschritten sind in dieser Richtung die gelben Sterne, zu welchen auch die Sonne gehört, und da über diese letztere eine außerordentlich große Menge von Beobachtungen vorliegt, so lohnt es wohl, sie näher ins Auge zu fassen.

Dem freien Auge stellt sich die Sonne als eine gleichmäßig leuchtende Scheibe von makellosem, ungetrübtem Glanze dar; sie galt stets als das Symbol der Vollkommenheit und Reinheit, und diese Ansicht war so innig mit den philosophischen Systemen früherer Zeit verbunden, daß man anfangs sogar an der Richtigkeit des unmittelbar Gesehenen zweifelte, als die Anwendung von Fernrohren diesen Schein als eine Täuschung offenbarte. Ja, Scheiner in Ingolstadt, der ungefähr gleichzeitig mit Galilei, mit Fabricius in Wittenberg und Harriot in England die Existenz von Sonnenflecken entdeckte, unterließ es lange Zeit, seinen Fund bekannt zu machen, da er sich scheute, eine allen hergebrachten Anschauungen so vollständig widersprechende Lehre zu verbreiten.

Aber rasch schwanden die Zweifel. Betrachtet man die Sonne durch ein gutes Instrument, an welchem die nötigen Vorrichtungen zum Schutze des Auges gegen den allzu blendenden Glanz angebracht sind, so findet man, daß der Anblick ihrer Oberfläche dem ersten Eindrucke durchaus nicht entspricht; sie zeigt sich eigentümlich marmoriert, unruhig und wellenförmig bewegt; einzelne heller glänzende Stellen, die Sonnenfackeln, machen sich namentlich gegen die Ränder hin bemerkbar, und außerdem fallen einzelne tiefdunkle Stellen, die Sonnenflecke, auf.

Unserm Auge erscheinen diese ziemlich klein, allein wenn man bedenkt, wie ungeheuer weit von uns die Sonne entfernt ist, so ergibt sich die sehr bedeutende Ausdehnung jedes dunkeln Punktes, den wir überhaupt zu unterscheiden im stande sind. Die Sonne mit ihrem Durchmesser von 187,000 deutschen Meilen, welcher denjenigen der Erde mehr als 100mal übertrifft, sehen wir unter einem Gesichtswinkel von 32′ (32 Minuten), also von wenig mehr als $^1/_2{}^\circ$. Ein Gegenstand an der Oberfläche der Sonne, der uns unter dem winzig kleinen und mit guten Instrumenten eben noch genau meßbaren Winkel von 1″ (einer Sekunde) erscheint, hat in Wirklichkeit eine Größe von ungefähr 100 Meilen, und ein Körper von dem Durchmesser unsrer Erde würde uns unter dem winzigen Winkel von etwa 17″ sichtbar sein.


Die Sonnenoberfläche mit Flecken und Fackeln (nach Secchi).

Die kleinsten Flecke sind außerordentlich feine schwarze Punkte, mit denen die Sonnenoberfläche oft wie besäet ist; während man diese meist als Poren bezeichnet, sind die eigentlichen Sonnenflecke weit größer und erreichen mitunter ganz kolossale Dimensionen. So beobachtete der Astronom Tobias Meyer am 15. März 1758 einen riesigen Fleck, dessen Durchmesser nicht weniger als ein Zwanzigstel des Sonnendurchmessers, also etwa 9000 geographische Meilen, betrug und denjenigen der ganzen Erdkugel fünfmal übertraf. Noch bedeutend größer war ein zweiter Fleck, den einer der eifrigsten Beobachter dieser Erscheinungen, Schwabe in Dessau, am 4. September 1850 unter einem Winkel von etwa 5′ (fünf Minuten) sah; derselbe besaß demnach einen Durchmesser von 30,000 geographischen Meilen und einen Flächenraum von 716 Millionen Quadratmeilen. Ein so riesiger Maßstab bei diesen Erscheinungen gehört allerdings zu den Ausnahmen, aber Flecke von einem Durchmesser wie unsre Erde und darüber sind ganz gewöhnliche Vorkommnisse.

Die Gestalt der Sonnenflecke ist überaus wechselnd; als normal kann die runde Form gelten, bei welcher ein tiefdunkel erscheinender Kern regelmäßig von allen Seiten von einem strahlenförmig angeordneten Gürtel, dem Halbschatten oder der Penumbra, umgeben ist. Daneben kommen Sonnenflecke von länglicher Gestalt vor, andre sind vollständig unregelmäßig; häufig läßt sich eine spiralige Anordnung erkennen, oft sind mehrere Flecke zu einer Gruppe vereinigt, kurzum, es herrscht die größte Mannigfaltigkeit, und bedeutende Veränderungen der einzelnen Flecke lassen sich in verhältnismäßig kurzer Zeit erkennen: dieselben vergrößern oder verkleinern sich, Teilungen kommen vor, „Brücken“ von leuchtender Materie ziehen sich mitten durch den Kern hindurch, und endlich löst sich der ganze Fleck

auf, während andre an andern Stellen entstehen. Den Vorgang der Neubildung kann man oft beobachten; schon einige Tage vorher kündigt sich derselbe in der Regel an, indem die leuchtende Oberfläche der Sonne in Bewegung gerät, Fackeln auftreten oder reichliche Poren, die sich anfangs schnell hin und her bewegen, bis eine derselben die Oberhand gewinnt, sich vergrößert und zu einem eigentlichen Flecke ausbildet, um den sich allmählich der Halbschatten legt. Aber nicht immer ist der Verlauf ein so einfacher und ruhiger, oft geht die Bildung in einer höchst stürmischen Weise und unter gewaltigen Ausbrüchen glühender Gase aus dem Sonneninnern vor sich.

Wie die Form, so ist auch die Zahl und Größe der gleichzeitig vorhandenen Flecke sehr verschieden; manchmal sind sie in so geringer Menge und Ausdehnung zu sehen, daß



Sonnenflecke (nach Secchi).

die ältern Beobachter mit ihren schwachen Instrumenten glaubten, die Sonne sei bisweilen monate- und jahrelang ganz fleckenfrei. Diese Ansicht hat sich nun allerdings mit der Vervollkommnung der Teleskope als unrichtig erwiesen. Aber trotzdem herrschen schroffe Gegensätze: zu manchen Zeiten sind die Flecke sehr schwach, während sie zu andern in bedeutender Größe und Zahl auftreten. Langjährige Beobachtungen über diesen Gegenstand haben eine gesetzmäßige Folge des Wechsels ergeben, wonach ungefähr alle elf Jahre ein Maximum eintritt, auf welches ein Minimum folgt; und bekanntlich fallen diese Perioden der Sonnenflecke mit jenen des Erdmagnetismus und des Auftretens von Nordlichtern zusammen.

Jeder Fleck stellt offenbar eine kleine Verminderung der leuchtenden und Wärme strahlenden Oberfläche der Sonne dar oder vielmehr eine beträchtliche Verminderung der Ausstrahlung auf einem geringen Teile dieser Fläche. Wir kennen eine Anzahl von Fixsternen, die als veränderlich bezeichnet werden und teilweise bedeutenden Schwankungen in ihrer Lichtstärke unterworfen sind, und offenbar gehört nach dem soeben Mitgeteilten auch unsre Sonne in diese Kategorie, wenn auch der Betrag der Schwankung kein erheblicher

ist, da die Gesamtfläche, welche die Flecke bei einem Maximum ihres Auftretens einnehmen, noch nicht $^1/_{500}$ der ganzen Sonnenscheibe zu bedecken pflegt. Daß diese Unterschiede in der uns zugehenden Menge von Licht und Wärme auch auf der Erde sich geltend machen, ist gewiß, und es ist nur zweifelhaft, ob die Unterschiede bedeutend genug sind, um beobachtet und gemessen zu werden.

Wie wir hier trotz aller Unregelmäßigkeit in den einzelnen Erscheinungen eine entschiedene Gesetzmäßigkeit in zeitlicher Beziehung kennen gelernt haben, so finden wir eine solche auch in der räumlichen Verteilung der Flecke. In der Umgebung der beiden Pole der Sonne fehlen dieselben ganz, und in einer Entfernung von mehr als 30 Breitengraden vom Äquator gehört ihr Auftreten zu den Seltenheiten; ebenso selten finden sie sich in unmittelbarer Nähe des Äquators, wogegen sich in den beiden „Königszonen“ zwischen





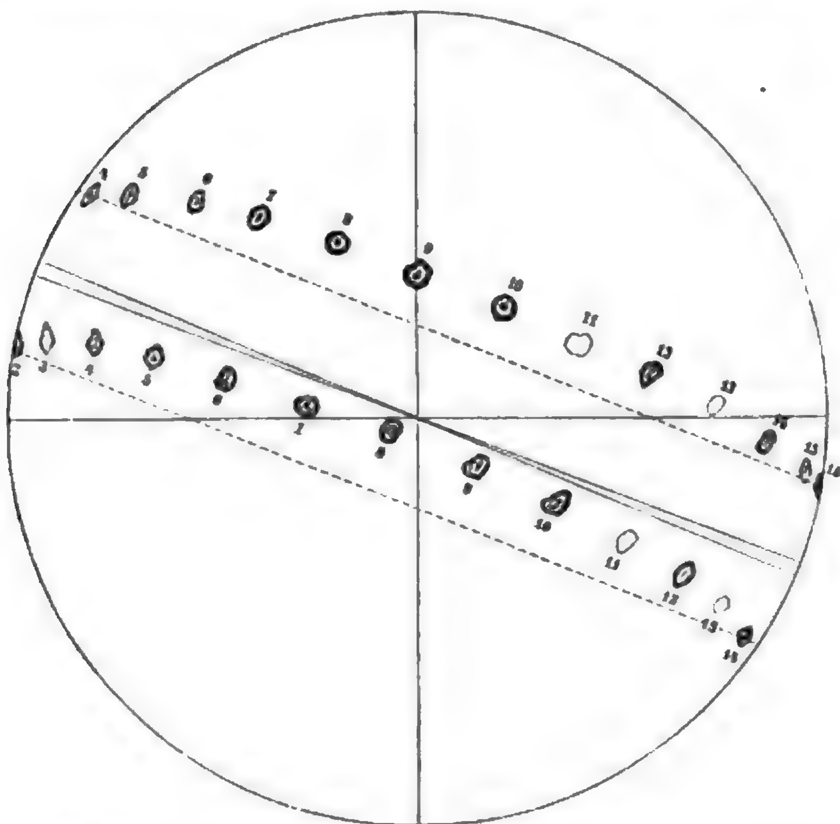
Sonnenflecke (nach Secchi).

dem 10. und 30.° nördlicher Breite einerseits und denselben Graden südlicher Breite anderseits die größte Mehrzahl konzentriert.

Beobachtet man einen und denselben Sonnenfleck mehrere Tage nacheinander, so bemerkt man, daß derselbe seinen Ort verändert und zwar in der Art, daß er am östlichen Rande der Sonne erscheint und allmählich nach Westen vorrückt, bis er am westlichen Rande wieder verschwindet. Zwar haben die Flecke auch eine eigne Bewegung, dieselbe ist aber verhältnismäßig gering. Die regelmäßige Verschiebung, von welcher wir hier sprechen, ist eine scheinbare, der Fleck ändert seine Lage auf der Sonne nicht wesentlich, sondern die Sonne selbst dreht sich in dem angegebenen Sinne um ihre Achse; natürlich machen auch die Flecke die Bewegung mit, woraus man die Zeit, welche die Sonne zu einer vollen Umdrehung um ihre Achse braucht, auf 25,38 Tage berechnet hat. Nach Ablauf einer halben Umdrehung sollte jeder Fleck, der am Ostrande der Sonne verschwunden ist, am Westrande wieder erscheinen; doch ist die Unbeständigkeit dieser Gebilde so groß, daß sie oft in der Zeit, während welcher sie uns unsichtbar sind, verschwinden und sich auflösen oder ihre Form so bedeutend verändern, daß sie bei ihrem Wiederauftauchen nicht mit Sicherheit

mehr erkannt werden können. Von vielen dagegen wurde die Wiederkehr beobachtet, ja einzelne derselben, welche allerdings seltene Ausnahmen bilden, konnten während 6—8, einer sogar während 18—22 Umdrehungen der Sonne, also im letztern Falle 1½ Jahre hindurch, verfolgt werden.

Natürlich ist die Form der Flecke sehr verschieden, je nachdem wir sie am Rande oder in der Mitte der Sonne sehen. Nach den einfachsten Regeln der Perspektive erscheinen sie uns im erstern Falle ganz schmal, während wir sie im letztern in ihrer vollen Breite wahrnehmen; die untenstehende Abbildung wird dies hinreichend erläutern. Allein noch eine zweite Erscheinung tritt uns, wenigstens in der Mehrzahl der Fälle, entgegen: Flecke, welche in der Mitte der Sonne einen regelmäßigen, runden Kern, von ringförmigem Halbschatten umgeben, zeigen, verlieren ihre symmetrische Gestalt, wenn sie dem Rande der Sonne näher stehen. Der gegen die Mitte der Scheibe zu gelegene Teil des Halbschattens wird schmäler und verschwindet endlich ganz, während die dem Rande genäherte Partie der Penumbra fast unverändert bleibt. Auch diese Änderung ist lediglich eine Folge der perspektivischen Verschiebung, aus der wir schließen müssen, daß die Sonnenflecke Vertiefungen in der leuchtenden Oberfläche entsprechen, deren geneigte Ränder den Halbschatten bilden, wie es die Abbildung auf S. 77 darlegt.



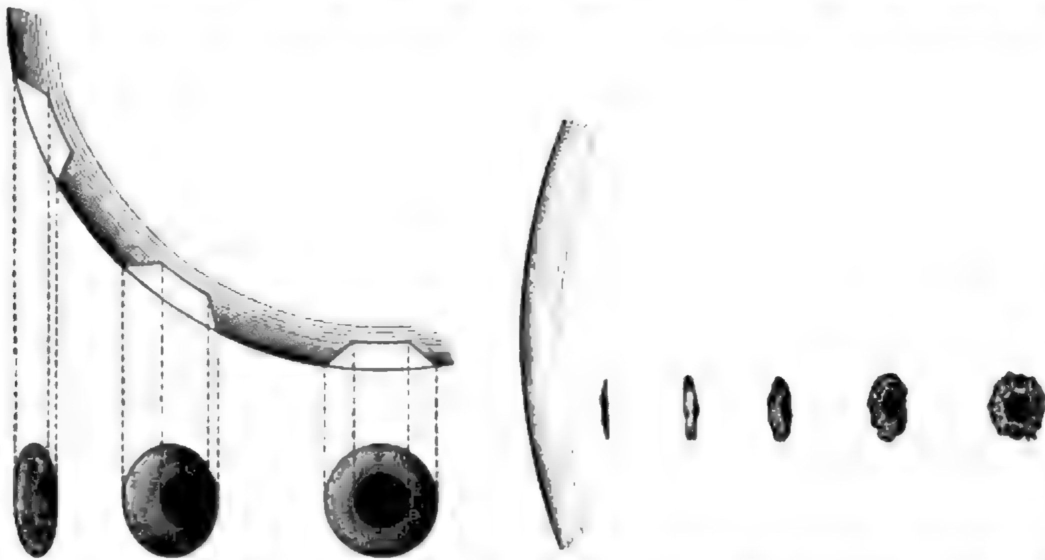
Zwei Sonnenflecke, in ihrem allmählichen Vorrücken über die Sonnenscheibe dargestellt (nach Secchi).

Die weißglühende Masse der Sonne, in welche die Flecke eingesenkt sind, bezeichnet man als die Photosphäre (φῶς [phos], d. h. Licht), die Sphäre des Lichtes, und sie ist es, die wir mit freiem Auge und mit Teleskopen, wenn sie nicht ganz besondere Vorrichtungen besitzen, allein sehen. In Wirklichkeit aber legen sich um die Photosphäre noch andre Hüllen herum, die uns unter gewöhnlichen Verhältnissen unsichtbar bleiben und zuerst bei Gelegenheit totaler Sonnenfinsternisse beobachtet wurden. Man sieht dann einen schmalen Ring von rotem Lichte, dessen spektroskopische Untersuchung ergab, daß er der Hauptsache nach aus glühendem Wasserstoffe besteht, welcher als verhältnismäßig dünne Hülle die ganze Photosphäre umgibt. Diese rötlich glänzende Gasmasse, die eine Dicke von 1000 bis 1500 geogr. Meilen besitzt, hat ihrer Färbung wegen den Namen Chromosphäre (χρῶμα [chroma], d. h. Farbe) erhalten.

In einzelnen Fällen ist es noch gelungen, zwischen Photosphäre und Chromosphäre eine äußerst dünne Gasschicht zu entdecken, welche durch sehr merkwürdige Eigentümlichkeiten ausgezeichnet ist. Ist der Spektralapparat beim Beginne der Totalität einer Sonnenfinsternis genau auf die Stelle gerichtet, an welcher die letzte Spur der Photosphäre

verschwindet, so gelingt es unter günstigen Verhältnissen unmittelbar nach der Verdunkelung derselben, während ganz kurzer Zeit das Spektrum einer äußerst dünnen Gasschicht zu sehen, die in herrlichem Glanze auf dunklem Grunde eine Menge leuchtender Linien zeigt und zwar, soweit eine Beobachtung bei der kurzen Dauer der Erscheinung möglich war, genau dieselben Linien, welche im gewöhnlichen Sonnenspektrum dunkel erscheinen. Wir haben also hier nach dem oben Gesagten ein „umgestürztes Sonnenspektrum". Es ist wahrscheinlich, daß die dünne leuchtende Schicht zwischen Photosphäre und Chromosphäre mit ihren zahlreichen glänzenden Linien es ist, welche die Fraunhoferschen Linien erzeugt; das reine weiße Licht der Photosphäre muß die dünne Gasschicht passieren, welche nun die ihr eigentümlichen Lichtstrahlen auslöscht und so die dunkeln Streifen des normalen Sonnenspektrums erzeugt.

Als äußerste Umgebung der Sonne erscheint bei totalen Finsternissen ein die schwarze Scheibe rings umfließender strahlender Lichtschimmer, die Korona, welche in unmittelbarer Nähe des dunkeln Kreises am hellsten ist und von da durch allmähliche



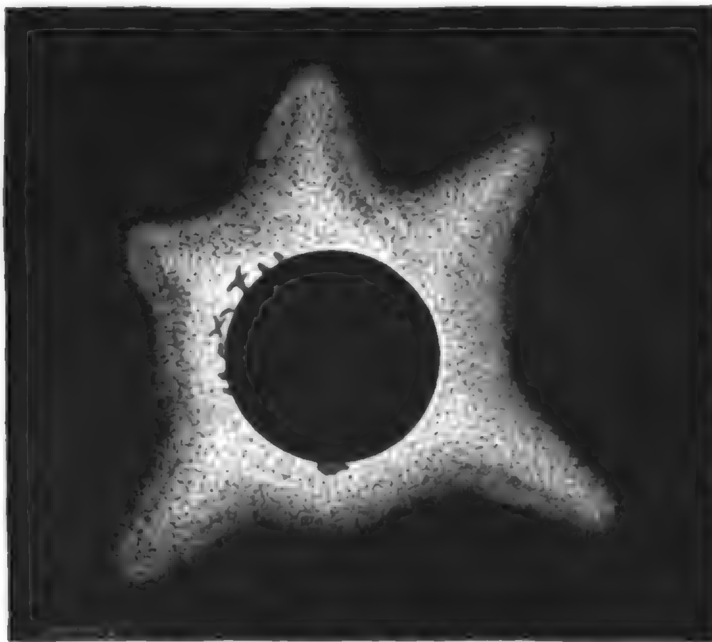
Schematische Darstellung der scheinbaren Veränderung der Sonnenflecke durch die Umdrehung der Sonne (nach Secchi). Vgl. Text, S. 76.

Zwischenstufen in den dunkeln Himmelsgrund übergeht. Die Spektraluntersuchung ergab ein schwaches kontinuierliches Spektrum mit mehreren hellen Linien, unter denen sich solche des Wasserstoffes und des Natriums befinden. Der hellste unter den leuchtenden Streifen ist jedoch noch an keinem irdischen Körper beobachtet worden, während er sich in der Chromosphäre wiederfindet.

Von besonderer Wichtigkeit sind die Vorgänge an der Oberfläche der Chromosphäre. Bei der totalen Sonnenfinsternis am 8. Juli 1842 gewahrte man am Rande der verfinsterten Scheibe eigentümliche rote Hervorragungen, welche man Protuberanzen nannte. Wohl waren dieselben schon früher beobachtet worden, aber sie hatten keine große Aufmerksamkeit erregt; um so mehr war dies nun der Fall, und mit größter Spannung wurden die nächsten totalen Finsternisse erwartet, um über die Natur dieses seltsamen Phänomens weitere Untersuchungen anzustellen. In der That lieferten diese trotz der kurzen Zeit, welche die Totalität dauerte, sehr wichtige Resultate. In ein neues Stadium traten aber diese Untersuchungen, als es gelang, diese Erscheinungen auch bei voll scheinender Sonne durch den Spektralapparat zu beobachten. Man fand, daß durch geeignete Vorrichtungen nicht nur die Protuberanzen, sondern auch die Chromosphäre und unter besonders günstigen Verhältnissen selbst die dünne Gasschicht mit hellen Spektrallinien zwischen Chromo- und Photosphäre auch ohne Finsternis beobachtet werden können. Seit dieser Zeit

sind zahlreiche Astronomen mit dem fortwährenden Studium der Protuberanzen und der Chromosphäre beschäftigt, und in erster Linie ist unter ihnen der vor kurzem verstorbene Pater Secchi, der berühmte Vorstand der Sternwarte am Collegium Romanum in Rom, zu nennen, dessen ausgezeichnetes Werk über die Sonne allgemein bekannt ist.

Chromosphäre und Protuberanzen sind stets nur am äußersten Rande der Sonne sichtbar; im Innern der Scheibe können wir sie nicht wahrnehmen, da der überwältigende Glanz der Photosphäre hier eine Beobachtung unmöglich macht. Im allgemeinen erscheint die Oberfläche der Chromosphäre, wie die einer ruhig stehenden Flüssigkeit, scharf begrenzt; häufig aber zeigt ihre Außenseite eine Menge feiner Strahlen und kleiner, unregelmäßig gestalteter Flammen, welche die Höhe der darunterliegenden Chromosphäre etwa um das Doppelte überragen. Diese bilden den Übergang zu den eigentlichen Protuberanzen, die in Farbe und Spektrum mit der Chromosphäre übereinstimmen und in gewissen Formen geradezu als lokale Auftreibungen der letztern betrachtet werden können; doch sind die Protuberanzen der Mehrzahl nach weniger glänzend als die Chromosphäre.



Die Sonne bei totaler Verfinsterung mit Protuberanzen und Korona (nach Secchi).

Die einfachste Form stellen die sogenannten Haufenprotuberanzen dar, welche oft nur als glänzende Anhäufungen der chromosphärischen Schicht erscheinen, während andre, die Nebelprotuberanzen, in ihrer Gestalt unsern Wolken vergleichbar sind oder sich dadurch bilden, daß eine oder zwei Feuersäulen aus der Chromosphäre aufsteigen und sich dann in einer Höhe, die bis zu 16,000 geogr. Meilen betragen kann, in nebelartige Massen auflösen. Die hell leuchtenden Strahlenprotuberanzen steigen dagegen mit großer Schnelligkeit senkrecht oder schief von der Oberfläche der Sonne auf und breiten sich in der Höhe garbenförmig aus oder fallen raketenartig wieder zurück. Ihre Dauer, während welcher sie fortwährenden heftigen Veränderungen unterworfen sind, ist in der Regel eine ziemlich kurze. Die Art und Weise des Aufschießens dieser merkwürdigen Gebilde läßt sich mit nichts auf Erden als mit den gewaltigsten vulkanischen Eruptionen vergleichen, und offenbar haben wir es in ihnen mit Ausbrüchen glühender Gase aus der Sonnenoberfläche zu thun, gegen welche auch die stärksten vulkanischen Vorgänge auf der Erde verschwindend schwach erscheinen (vgl. die beigeheftete Tafel „Sonnenprotuberanzen“).

Die Protuberanzen sind nicht wie die Flecke auf bestimmte Regionen der Sonne beschränkt, sondern treten überall, von den Polen bis zum Äquator, auf, wenn auch nicht überall in gleicher Häufigkeit; sowohl auf der nördlichen als auf der südlichen Halbkugel der Sonne finden sich je zwei Zonen, in welchen sie sehr häufig sind. Zwei derselben liegen nur wenig vom Äquator entfernt und fallen mit den oben erwähnten Königszonen zusammen, in welchen die Mehrzahl der Sonnenflecke erscheint; ein zweites Maximum der Protuberanzen findet sich nicht sehr weit vom Pole in jeder der beiden Hemisphären zwischen dem 70. und 80. Breitengrade. Wir sehen demnach wenigstens so weit eine Verbindung

Protuberanzen, beobachtet von Winlock 13 April 1872.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 000 engl. Meilen

SONNEN-PROTUBERANZEN.

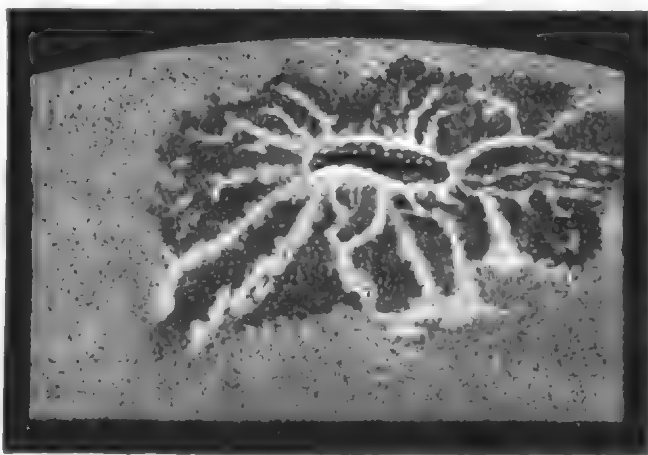
[illegible], beobachtet von Winlock 29 April 1872.



Protuberanzen, beobachtet von Winlock 29 April 1872

zwischen Flecken und Protuberanzen, als ein Maximum der letztern mit dem Hauptvorkommen der erstern zusammenfällt; vor allem sind es die strahligen Eruptionen, welche als Begleiter der Sonnenflecke erscheinen und aus der Umgebung dieser sich erheben. Schon früher wurde erwähnt, daß noch eine dritte Erscheinung an der Sonnenoberfläche, nämlich die Fackeln (s. untenstehende Abbildung), welche lokale Auftreibungen der photosphärischen Masse darstellen, mit Vorliebe sich in der Umgebung der Sonnenflecke zeigt. Ein solches Zusammentreffen läßt offenbar auf eine ursächliche Verbindung dieser Phänomene schließen, und diese Erkenntnis bietet, soweit unsre Einsicht reicht, das beste Mittel, um in Verbindung mit den Ergebnissen der Spektralanalyse eine Ansicht über die physische Beschaffenheit der Sonne zu bilden.

Leider sind wir von einem endgültigen Resultate in den Untersuchungen über die physische Beschaffenheit der Sonne noch sehr weit entfernt, und die Ansichten der verschiedenen Astronomen und Physiker gehen kaum in irgend einer Frage weiter auseinander als in dieser. Von verschiedenen Theorien, welche darüber aufgestellt worden sind, wollen wir zwei ins Auge fassen, die in sehr wesentlichen Punkten voneinander abweichen und zwei eminente Kenner der Sonne, Secchi und Zöllner, zu ihren Urhebern haben. Welche von diesen Auffassungen als die richtigere zu betrachten sei, läßt sich heute noch nicht entscheiden, und am wenigsten kann ein Urteil darüber hier Platz finden, denn nur die fertigen Resultate der Astronomie werden hier kurz angeführt, soweit sie für die Geologie von Wichtigkeit sind. Alle verschiedenen Theorien müssen einen weißglühenden Körper der Sonne annehmen, welcher ein zusammenhängendes Spektrum gibt, und von dessen Lichte dann die Gase der äußern Sonnenatmosphäre gewisse Lichtarten absorbieren, wodurch die Fraunhoferschen Linien erzeugt werden. Der weißglühende Körper kann der großen Beweglichkeit nach, die wir bei den Vorgängen an der Sonnenoberfläche bemerken, nicht fest sein. Es lag daher in erster Linie die Vermutung nahe, daß sich derselbe in flüssigem Zustande befinde; allein seitdem man weiß, daß auch Gase unter höherm Drucke ein zusammenhängendes Spektrum geben, ist die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß die ganze Sonne aus glühenden Gasen bestehe. Die Entscheidung der Frage, ob wir flüssigen oder gasförmigen Zustand annehmen sollen, ist die wesentlichste, um welche es sich bei allen Kontroversen über die Beschaffenheit der Sonne handelt.


Ein Sonnenfleck, von Fackeln umgeben (nach Secchi).

Flüssige Konsistenz nahm schon Kirchhoff in seinen grundlegenden Arbeiten an, und namentlich vertrat Zöllner bis zu seinem vor kurzem erfolgten Tode diese Anschauung. Da die Spektralanalyse bei der Entscheidung über diese Frage, wie wir gesehen haben, kein unzweideutiges Zeugnis gibt, so ist es notwendig, sich auf andre Beobachtungen zu stützen. Die Schwierigkeit dabei ist immer die, daß auf der Sonne so ungeheuer hohe Temperatur und ein so kolossaler Druck herrschen, daß wir uns durch Beobachtung irdischer Vorgänge und durch Experimente im Laboratorium keine hinreichende Vorstellung von den dortigen Zuständen machen können. Den wichtigsten Ausgangspunkt für die Beweisführung Zöllners bilden die eruptiven Protuberanzen, jene gewaltigen Gasausbrüche, welche, den vulkanischen Vorgängen der Erde vergleichbar, mit einer ungeheuern Energie und

Geschwindigkeit Massen von Wasserstoff und metallischen Dämpfen in riesige Höhen hinaufschleudern. Nach den bekannten Gesetzen der Physik ist zur Entstehung einer solchen Eruption das Vorhandensein einer vorangehenden Spannung notwendig, wie sie innerhalb einer lediglich aus Gasen bestehenden Masse nicht existieren kann; sie setzt das Vorhandensein einer flüssigen Trennungsschicht zwischen den gespannten Gasen im Innern und dem Raume voraus, in welchem die Eruption erfolgt. Es ist bekannt, daß viele Flüssigkeiten die Fähigkeit besitzen, Gase in sich aufzunehmen, zu absorbieren; das bekannteste Beispiel liefert das Wasser, welches atmosphärische Luft und Kohlensäure aufnimmt oder auflöst. Aber auch heiße, geschmolzene Körper absorbieren Gase, teilweise in außerordentlich großer Menge; so enthalten die Lavaströme unsrer Vulkane stets bedeutende Massen von Wasserdampf, Kohlensäure und andern Gasen, die bei der Abkühlung und Erstarrung entweichen und auf den zähen, fest werdenden Strömen durch die Gewalt ihrer Ausströmung selbständige kleine Eruptionen hervorrufen. Geschmolzenes Silber enthält z. B. bedeutende Quantitäten von Sauerstoff absorbiert, die beim Festwerden des Metalles mit kleinen Explosionen, dem sogenannten Spratzen, entweichen. Die Analogie mit solchen Vorgängen liegt sehr nahe, und es würden demgemäß die eruptiven Protuberanzen durch Gase gebildet, welche aus der sich abkühlenden Sonnenmasse entweichen.

Welche Bedeutung bei der Annahme eines flüssigen Zustandes des Sonnenkörpers den Flecken zuzumessen sei, ist eine Frage, die von verschiedenen Seiten verschieden beantwortet wird; einige sehen in denselben Wolkenbildungen, während sie Zöllner als feste Produkte der Abkühlung, als Schlackenmassen, betrachtet, die auf der Oberfläche des glühenden Meeres schwimmen. Nach der Theorie Zöllners sehen wir, wenn wir die weiß leuchtende Sonnenscheibe betrachten, für gewöhnlich nicht unmittelbar auf die Oberfläche dieses feurigen Ozeanes, sondern auf eine Schicht überaus heißer Gase, die unter dem hohen Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, weiß leuchten und ein kontinuierliches Spektrum liefern. Hat sich nun auf den unter diesen Gasen befindlichen feurig-flüssigen Massen ein großes Schlackenfeld als Produkt der Abkühlung gebildet, so wird dieses den Kern eines Sonnenfleckes bilden, indem über der schwimmenden Scholle die Gase sich abkühlen, den Halbschatten des Kernes bilden und nach Verlust ihres überaus starken Glanzes dem Auge in die Tiefe auf die Oberseite des Schlackenfeldes zu blicken gestatten. Es würde dies die Thatsache, daß die Sonnenflecke als Einsenkungen erscheinen, in natürlicher Weise erklären, während das Auftreten eruptiver Protuberanzen sehr gut den Druckdifferenzen zugeschrieben werden kann, welche dieser Vorgang naturgemäß mit sich bringt. Das rasche Erscheinen und Verschwinden braucht nicht immer der Neubildung von Schlackenmassen und ihrer Wiedereinschmelzung zugeschrieben zu werden, sondern dem Auftauchen oder Untersinken schon vorhandener Schollen, und ein solcher Vorgang wird sich mit den raschen Veränderungen, die man beobachtet, besser in Einklang bringen lassen.

Dieser Theorie Zöllners wollen wir diejenige des Paters Secchi entgegenstellen. Der hauptsächlichste Einwurf, welchen Secchi gegen Zöllner erhob, bezieht sich auf das Gewicht der Sonne. Bekanntlich ist es der Astronomie gelungen, das Gewicht der Sonne festzustellen, und es hat sich ergeben, daß ihre Masse 322,800mal schwerer ist als diejenige der Erde, während an Volumen die Überlegenheit der Sonne eine weit größere ist. Es geht daraus hervor, daß die Dichtigkeit (das spezifische Gewicht) der Sonne weit geringer ist als diejenige der Erde, daß ein Stück der Sonne viel leichter ist als ein gleichgroßes Stück der Erde. In der That ist die Sonne nicht ganz um die Hälfte schwerer, als es eine gleichgroße Kugel von Wasser wäre. Nun besteht aber, wie die Spektralanalyse zeigt, die Sonne zum großen Teile aus Eisen und andern schweren Metallen, und es wäre daher ein viel höheres Gewicht zu erwarten, wenn diese in flüssigem Zustande sich befänden.

Einen zweiten Grund gegen Zöllners Theorie liefert die Veränderlichkeit der Sonnenflecke, welche nach Secchi wegen ihrer überaus großen Unbeständigkeit nicht als feste Massen, sondern nur als wolkenartige Gebilde betrachtet werden können. Nach Secchi ist die Sonne gasförmig. Bekanntlich ist es den Physikern gelungen, durch Anwendung von außerordentlich hohem Drucke alle Gase zu verdichten und flüssig zu machen; die erste epochemachende Entdeckung auf diesem Gebiete war das gelungene Experiment Natterers in Wien, auf diesem Wege die Kohlensäure flüssig darzustellen, und seither hat man die Erfahrung gemacht, daß dies bei allen Gasen möglich ist. Man hat jedoch dabei bemerkt, daß hoher Druck allein diese Wirkung nicht hervorbringt, sondern daß auch gewisse Temperaturverhältnisse herrschen müssen. Sobald die Temperatur zu hoch ist, reicht selbst der gewaltigste Druck, den wir erzeugen können, zum Verflüssigen der Gase nicht mehr aus. Der Wärmegrad, bei welchem diese Erscheinung eintritt, ist bei verschiedenen Gasen verschieden; bei der Kohlensäure beträgt er 31° C., und sobald die Temperatur darüber ansteigt, gelingt es in keiner Weise mehr, das Gas flüssig zu machen. Den Punkt, in welchem dieser Zustand eintritt, bezeichnet man als den „kritischen Punkt". Secchi nimmt nun an, daß auf der Sonne die Hitze eine so ungeheure sei, daß nicht nur die Metalle, wie Eisen, Mangan ꝛc., sich in Dampfform befinden, sondern daß auch ihr kritischer Punkt überschritten ist und sie daher selbst unter dem ungeheuern dort herrschenden Drucke nicht flüssig werden können. Gase, welche solchen Verhältnissen ausgesetzt sind, d. h. bei höherer Temperatur unter sehr hohem Drucke stehen, werden allerdings sehr stark komprimiert und kommen in einen eigentümlichen „kritischen Zustand", den man weder als gasförmig noch als tropfbarflüssig bezeichnen kann, sondern welcher die Mitte zwischen beiden Stadien hält. In diesem Zustande, in welchem kleine Änderungen in Druck oder Temperatur bedeutende Störungen zur Folge haben, soll sich der größte Teil der Sonnenmasse befinden und nur die äußere Hülle der Photosphäre eigentlich gasförmig sein.

Die Eigentümlichkeit des kritischen Zustandes, daß unbedeutende Schwankungen in den Wärme- und Druckverhältnissen die heftigsten Veränderungen mit sich bringen, wird von Secchi als Erklärung der stürmischen Vorgänge auf der Sonne betrachtet. Im Innern der Sonne gehen gewaltige Umwälzungen vor sich, deren Wirkungen sich bis auf die Oberfläche fortsetzen. Es erfolgen Eruptionen, weißglühende photosphärische und chromosphärische Massen werden in gewaltigen Mengen dabei emporgehoben und aufgehäuft und bilden die Sonnenfackeln; glühende Gasströme werden in riesigen Strahlen emporgeschleudert als eruptive Protuberanzen. Als untergeordnete und sekundäre Wirkungen dieser Vorgänge bilden sich stellenweise zwischen den Höhenzügen der Fackeln tiefe Einsenkungen, denen die leuchtende photosphärische Substanz mehr oder weniger fehlt, und die daher dunkel erscheinen und die Kerne der Flecke bilden, während die Penumbra, der Halbschatten, durch die in die Höhlung einströmenden Dampf- und Nebelmassen gebildet wird.

Wir sehen, daß die Theorie Secchis sich nicht nur dadurch von derjenigen Zöllners unterscheidet, daß er die Annahme eines eigentlich flüssigen Zustandes der Sonne abweist und demnach auch eine andre Erklärung der Flecke gibt, sondern ein bedeutender Unterschied liegt auch darin, daß der gelehrte Beobachter des Collegium Romanum unter den Erscheinungen und Störungen auf der Sonnenoberfläche nicht die Flecke als die primäre und wichtigste betrachtet, sondern das Hauptgewicht auf das Auftreten der Fackeln legt.

Wie vieles sich auch für die eine oder die andre der bis jetzt aufgestellten Theorien anführen läßt, so ist doch keine allen übrigen so sehr überlegen, daß wir uns mit Entschiedenheit für dieselbe erklären könnten; gegen jede lassen sich gewisse schwer wiegende Einwürfe erheben, und keiner gelingt es, alle Erscheinungen als notwendige Konsequenzen aus dem ihr zu Grunde liegenden Prinzipe ungezwungen abzuleiten. Vor allem sehen

wir in der Konzentrierung der Flecke in den Königszonen und in deren Periodizität in Zeiträumen von ungefähr elf Jahren zwei fundamentale Thatsachen, von welchen keine der Hypothesen genügende Rechenschaft gibt. Über einen Punkt jedoch sehen wir allgemeine Übereinstimmung herrschen, selbst bei den Anhängern der verschiedensten Richtungen; alle Forscher sind einig in der Ansicht, daß bei den Erscheinungen, die wir auf der Sonnenoberfläche vor sich gehen sehen, als mitwirkende oder als wesentliche Ursache eine Abkühlung unsers Zentralkörpers beteiligt sei. Und in der That liegt es auf der Hand, daß die Sonne, so hoch auch ihre Temperatur sein mag, doch allmählich kälter werden muß, nachdem sie seit vielen Millionen von Jahren unausgesetzt ungeheure Wärmemengen in den kalten Weltraum ausstrahlt.

Die Temperatur der Sonne kennen wir nicht; aber man kann wenigstens die Wärmemenge messen, die sie abgibt, und man hat gefunden, daß dieser Verlust ein ganz ungeheurer ist, und daß selbst unter den günstigsten Verhältnissen die ganze Sonnenmasse sich um mindestens $1^{8}/_{10}{}^{0}$ jährlich abkühlen, daß mithin in der historischen Zeit eine Temperaturabnahme von mehr als 10,000° eingetreten sein müßte. Bedenkt man, daß dieselbe Strahlung seit vielen Millionen von Jahren stattfindet, daß ferner das Innere der Sonne weit langsamer erkaltet als die äußern Teile, so hätten offenbar diese letztern schon längst erstarren und sich mit einer dunkeln, festen Kruste bedecken müssen, wenn nicht auf irgend eine Weise für Ersatz gesorgt wäre. Man hat vielfach nach einer Quelle gesucht, welche einen solchen Ersatz leisten könnte, und es gehört zu den schönsten Erfolgen der Physik, daß es ihr gelungen ist, in der That zu einem befriedigenden Resultate in dieser Beziehung zu gelangen. Man dachte in erster Linie an chemische Prozesse, an Verbrennung und ihr ähnliche Vorgänge, allein eine einfache Betrachtung ergab, daß diese absolut unzureichend seien; nur mechanische Wirkungen sind im stande, so Bedeutendes zu leisten.

Die mechanische Wärmetheorie, diese herrliche Errungenschaft der neuern Physik, zeigt, daß lebendige Kraft in Wärme umgesetzt werden kann; schon Robert Mayer, der erste Begründer dieser Lehre, war auf die Idee gekommen, daß dieselbe den Schlüssel für die Lösung jener Frage geben müsse. Er sprach die Ansicht aus, daß eine ungeheure Menge von Meteorsteinen und Sternschnuppen, welche fortwährend auf die Sonne niederstürzen, die Wärmewirkung hervorbringe. Wir werden bei Besprechung der Meteoriten, welche auf die Erde niederfallen, sehen, welche gewaltige Erhitzung durch die Hemmung ihres Fluges erzeugt wird. Infolge der Anziehung der riesigen Masse der Sonne langen die kosmischen Körper hier mit sehr viel größerer Geschwindigkeit an als auf der Erde; man hat dieselbe auf 83 Meilen in der Sekunde berechnet. Dem entsprechend wird auch eine ungeheure Wärmemenge bei dem Auffallen erzeugt, welche hinreichen würde, den niederstürzenden Körper um mehr als 50 Millionen Grade zu erhitzen, wenn er die hohe Wärmekapazität des Wassers hätte; bei andern Stoffen würde die Erhitzung noch viel beträchtlicher, z. B. bei Eisen neunmal so groß, ausfallen. Die Zahl der Sternschnuppen, die auf die Erde gelangen, wird auf mehrere Milliarden im Jahre geschätzt, und aller Wahrscheinlichkeit nach ist die Menge der Meteore, welche auf die Sonne fallen, eine unendlich bedeutendere, da diese durch ihre weit größere Masse eine sehr viel beträchtlichere Zahl solcher kosmischer Körper aus ihren Bahnen zu sich herniederreißen kann.

Daß Meteoriten auf die Sonne niederfallen und in der angegebenen Weise Wärme erzeugen, ist nicht zu bezweifeln, allein es ist fraglich, ob deren Zahl und Masse genügt, um den fortwährenden Verlust durch Strahlung zu kompensieren; eine Berechnung ergibt jedoch entschieden, daß dies nicht der Fall sein könne. Auf jedes Quadratmeter Sonnenoberfläche müßte im Durchschnitte stündlich 1 kg meteorischer Materie fallen; wäre dies wirklich der Fall, so würde infolge dieses fortwährenden Zuwachses die Masse der Sonne

verhältnismäßig sehr rasch zunehmen, so daß dieselbe sich in dem Zeitraume von 4000 Jahren schon um 1/8000 vermehrt hätte. Diese Zunahme würde aber auch die Anziehungskraft der Sonne fortwährend vermehren und sehr merkliche Änderungen in den Umlaufszeiten der Planeten hervorbringen; speziell müßte die Bewegung der Erde um die Sonne sich in 2000 Jahren schon um ein Achteljahr verzögert haben, eine Annahme, die mit den sichern Resultaten der Astronomie im entschiedensten Widerspruche steht. Wenn demnach auch Meteoriten in großer Menge auf die Sonne fallen und die berechnete Erhitzung durch deren Sturz eintritt, so kann dieser Faktor doch nicht als wesentlich für die Erhaltung der Sonnenwärme betrachtet werden.

Trotzdem aber muß der Gedanke als richtig gelten, daß mechanische Kräfte, welche in Wärme umgesetzt werden, vor allem die Erhaltung der Sonnenwärme bedingen. Helmholtz hat hier zuerst den richtigen Weg gezeigt, indem er nachwies, daß die eigne Zusammenziehung der Sonne diese Wirkung hervorbringt. Die Kantsche Theorie lehrt uns, daß die Sonne ihre jetzige Größe durch allmähliche Kontraktion aus einem ungeheuern Nebelball erhalten hat, und nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie muß durch diesen Vorgang eine überaus große Menge von Wärme frei geworden sein, da ja die Kontraktion im Grunde genommen nichts andres ist als ein fortwährendes Fallen aller Teilchen der Sonne gegen ihren Mittelpunkt. Derselbe Vorgang ist aber noch immer in Thätigkeit, die Sonne verringert ihr Volumen beständig, wenn dies auch in einer sehr allmählichen und für unsre Meßinstrumente nicht bemerkbaren Weise geschieht; und bei dieser Zusammenziehung wird eine Menge von Wärme frei, welche noch auf viele Millionen von Jahren hinaus den Verlust zu decken im stande ist. Nach neuern Untersuchungen scheint es sogar, als ob die Sonnenwärme infolge dieses Vorganges trotz aller Strahlung noch in Zunahme sein könnte.

Aber noch aus andrer Quelle steht der Sonne in einer allerdings noch fernen Zukunft eine kolossale Zufuhr von Wärme bevor. Die astronomischen Beobachtungen geben zwar vorläufig noch keinen unmittelbaren Nachweis dafür, daß die Geschwindigkeit der Planeten auf ihrem Laufe um die Sonne sich verringere, aber es sprechen sehr wichtige Gründe für eine solche Annahme. Die Fortpflanzung der oszillierenden Bewegungen von Licht und Wärme bedürfen eines körperlichen, den ganzen Raum erfüllenden Substrates, des sogenannten Äthers, und dieser muß die Bewegung der Himmelskörper durch einen wenn auch noch so geringen Widerstand hemmen. Dieselbe Wirkung müssen die fortwährend niederfallenden Meteormassen ausüben, und diese Erscheinungen werden ein überaus langsames, aber stetig fortschreitendes Überwiegen der durch die Schwerkraft hervorgebrachten Anziehung der Sonne über die zentrifugale Kraft der Planeten hervorbringen. Die Planeten werden demnach nicht Ellipsen, sondern sehr enge Spiralen beschreiben und sich immer mehr der Sonne nähern, bis sie endlich auf die letztere niederstürzen. Natürlich wird Merkur zuerst dieses Schicksal erleiden, ihm wird Venus, dann die Erde und alle andern Planeten der Reihe nach folgen, und es bedarf wohl keiner weitläufigen Erörterung, um zu zeigen, daß bei einem solchen Ereignisse eine ganz ungeheure Erhitzung stattfinden wird. So wird jeder Planet bei seinem Falle auf die Sonne wieder Wärme erzeugen, bis auch der letzte von ihnen mit dem Zentralkörper vereinigt ist und dieser dann ohne neuen Ersatz der Erstarrung entgegengeht. Wird diese dann eine definitive sein, oder wird ein neuer Kreislauf beginnen, indem die Sonne bei ihrer Erkaltung zerklüftet und zerspringt und dadurch neue Wärme erzeugt, oder wird dies einst durch den Zusammenstoß mit einem andern Weltkörper stattfinden? Das sind Fragen, deren Besprechung uns von unserm Hauptziele, von der Kenntnis der Geschichte der Erde, zu weit ablenken würde.

Der Zustand der Gestirne.

Wir dürfen mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß in ungefähr demselben Zustande wie die Sonne sich auch die übrigen gelben Sterne befinden, zu welchen die Sonne ja auch gerechnet werden muß, und wir haben hier ein weiteres Stadium in dem Entwickelungsgange kennen gelernt, welchen die sich abkühlenden Himmelskörper durchlaufen. Einen Schritt weiter führt uns die Betrachtung der roten und meist veränderlichen Sterne, welche Secchi als seinen dritten und vierten Typus der Fixsterne anführt. Wie wir gesehen haben, sind die Spektra dieser Körper durch das Auftreten breiter dunkler Streifen, der sogenannten Kolonnaden, charakterisiert und zeigen Eigentümlichkeiten, die auf das Vorhandensein chemischer Verbindungen in großer Menge hinweisen. Während auf den weißen und gelben Sternen die Hitze eine so bedeutende zu sein scheint, daß solche Verbindungen nicht existieren können, sondern die Elemente in freiem Zustande vorhanden sind, muß die Abkühlung auf diesen roten Gestirnen so weit vorgeschritten sein, daß keine allgemeine „Dissociation" der Grundstoffe mehr stattfindet. Zu demselben Schlusse, zu der Annahme einer niedrigern Temperatur auf den in Rede stehenden Weltkörpern, führt uns der Umstand, daß unter denselben sich sehr viele von veränderlicher Lichtstärke finden. Allerdings können nicht alle derartigen Schwankungen des Glanzes auf dieselben Ursachen, nicht alle auf Abkühlung zurückgeführt werden. Manche zeigen sehr regelmäßig periodische Veränderungen, für welche jedenfalls die einfachste und natürlichste Erklärung die ist, daß sie von einem großen dunkeln Satelliten begleitet werden, der, in gewissen Perioden vor denselben vorübergehend, sie teilweise bedeckt und verfinstert. In andern Fällen aber ist die Ansicht offenbar gerechtfertigt, daß wir es mit äußerst starker Fleckenbildung zu thun haben oder mit schon vollzogener Bildung von erstarrten Kontinenten in dem Glutmeere flüssigen Materiales.

Daß in diesem Gange der allmählichen Abkühlung und Verdunkelung sich bisweilen überaus heftige Katastrophen einstellen, beweisen die sogenannten neuen oder plötzlich aufleuchtenden Sterne; das bekannteste Ereignis dieser Art stellte der vielgenannte Stern Tycho Brahes, des berühmten dänischen Astronomen aus dem 16. Jahrhundert, dar. Tycho sah eines Abends zu seinem größten Erstaunen nahe am Zenith im Sternbilde der Kassiopeia einen hell leuchtenden Fixstern von nie gesehener Größe. Der merkwürdige Fremdling erschien am 11. November 1572 im hellsten Glanze mit weißem Lichte, im Aussehen ganz einem Fixsterne ähnlich, aber weit heller als irgend einer von diesen und die Venus an Helligkeit erreichend; allein bald trat eine Verminderung ein, schon im Dezember desselben Jahres war er nur noch dem Jupiter gleich und im Februar und März 1573 einem gewöhnlichen Sterne erster Größe mit gelber Farbe. Ende März nahm er rotes Licht an, ähnlich dem des Mars, im April und Mai sank er zur zweiten Größe herab, im Juli und August zur dritten, im Oktober und November zur vierten. Der Übergang von der fünften zur sechsten Größe fand vom Dezember 1573 bis Februar 1574 statt, und später verschwand der neue Stern, der wieder weiße Farbe angenommen hatte, dem freien Auge vollständig, nachdem er im ganzen 17 Monate lang sichtbar gewesen war. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist er identisch mit einem teleskopischen Sternchen zehnter oder elfter Größe, das Argelander fast genau an der von Tycho bezeichneten Stelle fand.

Ähnliche Erscheinungen wurden noch mehrmals beobachtet; der sogenannte Keplersche Stern wurde am 10. Oktober 1604 im Sternbilde des Schlangenträgers entdeckt, er erreichte fast die Venus an Glanz, war aber im März 1606 selbst für sehr scharfe Augen nicht mehr sichtbar. Von größter Wichtigkeit ist ein neuer Fall dieser Art, da hier die Spektralanalyse eine genaue Untersuchung der Erscheinung und ihrer Veranlassung gestattete:

in der Nacht des 12. Mai 1866 entdeckten Julius Schmidt in Athen und John Birmingham in Irland im Sternbilde der Nördlichen Krone plötzlich einen sehr hellen Stern, der vorher nicht vorhanden war; noch in derselben Nacht verminderte er seine Lichtstärke und war nach acht Tagen mit dem bloßen Auge nicht mehr zu erkennen. Genaue Bestimmungen des Ortes zeigten, daß dieser Stern schon lange von Argelander als der neunten bis zehnten Größe angehörig verzeichnet war, und mit derselben Lichtintensität ist er auch heute wieder sichtbar. Ein ähnlicher Fall wurde im Jahre 1876 von Julius Schmidt im Sternbilde des Schwanes entdeckt. Huggins und Miller in England beobachteten den Stern in der Krone zur Zeit seines hellen Aufleuchtens mit dem Spektralapparate und fanden ein ziemlich lichtschwaches Fixsternspektrum mit dunkeln Streifen und außerdem vier hell glänzenden Linien, von welchen zwei mit solchen des glühenden Wasserstoffes übereinstimmten. Es kann demnach keinem Zweifel unterliegen, daß das plötzliche Aufleuchten hier und vermutlich auch in allen andern Fällen gewaltigen Eruptionen glühender Gase aus dem Innern des Himmelskörpers zuzuschreiben sei, bei welchen, wie bei den Protuberanzen der Sonne, Wasserstoff die erste Rolle spielt.

Die Beobachtungen des Fixsternhimmels zeigen uns keine weitern Stadien des Abkühlungsprozesses als die bisher betrachteten; Körper, die noch geringere Temperatur besitzen als Secchis dritter und vierter Typus, brauchen durchaus nicht ganz dunkel zu sein, aber ihr Glanz ist doch zu gering, um aus jenen unermeßlich fernen Himmelsräumen bis zu uns zu dringen. Wollen wir weitere Vergleichspunkte finden, so müssen wir in unserm Planetensysteme Umschau halten, dessen Glieder nur im Widerscheine des Sonnenlichtes glänzen. Für die vier äußern großen Planeten: Neptun, Uranus, Saturn und Jupiter, scheint dies allerdings nicht vollständig richtig zu sein, denn die neuern Untersuchungen machen es in hohem Grade wahrscheinlich, daß sie neben dem ganz überwiegenden reflektierten Lichte der Sonne auch in sehr geringem Maße eignes Licht ausstrahlen; dieselben wären demnach noch in einem wenn auch schwach glühenden Zustande. Ob sie gasförmig, flüssig oder fest seien, läßt sich nicht mit Bestimmtheit sagen; nur so viel ist sicher, daß ihre Dichtigkeit eine ziemlich geringe ist. Die Atmosphäre dieser Planeten wurde schon bei der Besprechung der Spektralanalyse erwähnt, ebenso bereits früher des bekannten Ringes gedacht, welcher den Saturn umgibt; nur kurz heben wir die eigentümlichen streifigen Flecke hervor, die einen großen Teil der Oberfläche des Jupiter bedecken und vermutlich als Wolkenbildung zu deuten sind.

Über die zahlreichen Asteroiden ist wenig zu bemerken, nur an dem größten unter ihnen, an Vesta, sind Spuren einer Atmosphäre entdeckt worden, eine Thatsache, die wir hier als wichtig hervorheben, und auf welche wir später noch zurückkommen werden.

Von um so größerm Interesse sind die Beobachtungen an den Planeten innerhalb des Gürtels der Asteroiden oder wenigstens an einem von ihnen, an Mars, während Venus und Merkur, deren Bahnen zwischen Sonne und Erde liegen, nur wenige Daten geliefert haben. Mars, der äußerste unter den vier sonnennahen Planeten, ist von zwei kleinen Monden begleitet; seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt ungefähr 31 Millionen Meilen, ist also um mehr als die Hälfte größer als die der Erde, so daß er nicht ganz halb soviel Licht und Wärme von der Sonne erhält wie diese. Die Bahn ist eine verhältnismäßig sehr exzentrische, nähert sich in der Sonnennähe dem Zentralkörper auf 28 Millionen Meilen und steht im entgegengesetzten Falle 33 Millionen Meilen von demselben ab. Der Durchmesser des Mars beträgt 909 Meilen, etwas mehr als die Hälfte von dem der Erde, seine Oberfläche beträgt $^3/_{10}$, sein Volumen $^1/_7$, seine Masse $^1/_{10}$ von derjenigen der Erde. Der Umlauf um die Sonne, das Marsjahr, dauert fast 687 Tage, während die Umdrehung um die eigne Achse sich auf 24 Stunden, 37 Minuten und 24 Sekunden beläuft.

Untersuchungen über die Beschaffenheit des Mars sind schon vielfach gemacht worden; namentlich hat Schiaparelli die günstigen Bedingungen, welche sich in den Jahren 1877 und 1879 boten, benutzt, um genaue Studien in dieser Richtung zu machen. Dem freien Auge erscheint Mars als ein trüb rötlich leuchtender Stern, dunkel glühendem Eisen ähnlich, und seine Lichtstärke wechselt für uns sehr bedeutend, je nachdem er in der Erdnähe in einer Entfernung von nur 7 Millionen Meilen sich befindet oder in der Erdferne fast achtmal soweit absteht. Mit einem guten Teleskop betrachtet, bietet Mars einen sehr eigentümlichen Anblick dar; man unterscheidet zahlreiche hellere und dunklere Flecke, von denen einige ganz konstant, andre dagegen vielfachen Veränderungen unterworfen sind. Da die Spektralanalyse das Vorhandensein einer wasserdampfhaltigen Atmosphäre, allerdings wohl von etwas geringerer Stärke als bei der Erde, nachgewiesen hat, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß diese letztern rasch wechselnden und meist ziemlich hell glänzenden Partien Wolken und Nebel darstellen.

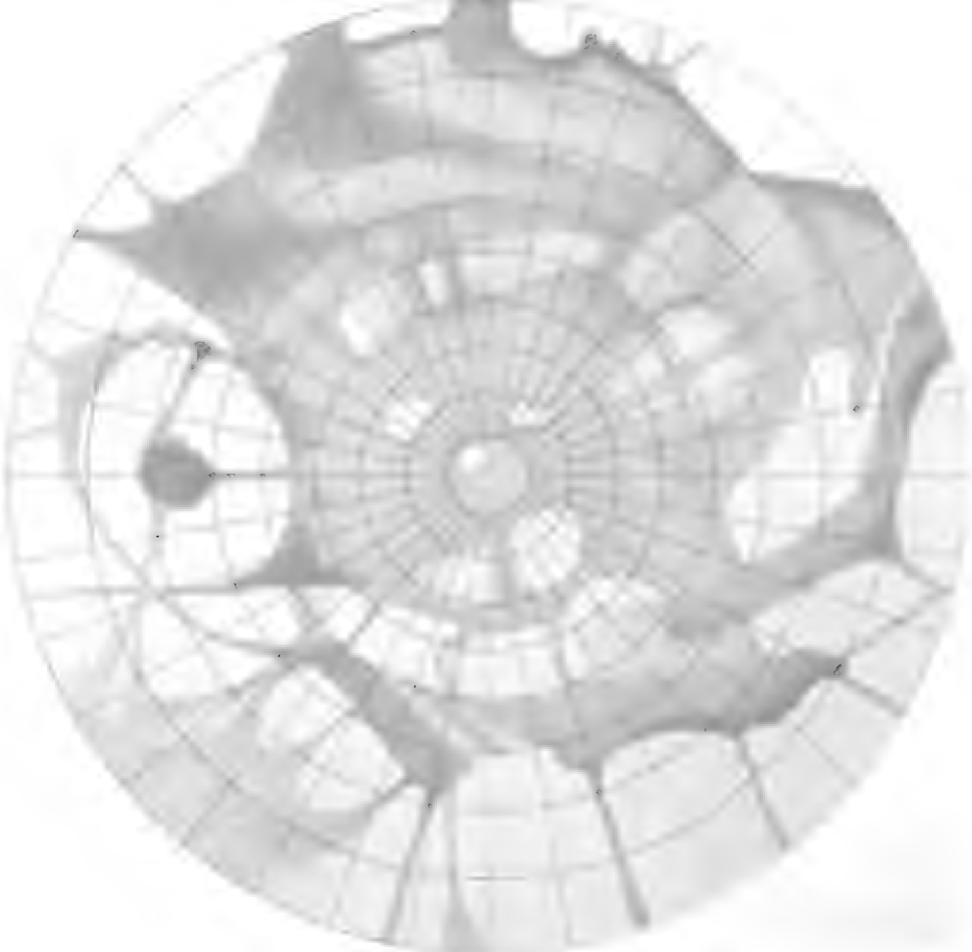
Eine fortgesetzte Untersuchung ergibt die Möglichkeit, die ganze Oberflächenbeschaffenheit des Mars, wie sie sich ohne diese Kondensationsprodukte der Atmosphäre darstellt, allmählich kennen zu lernen. Man findet dann hauptsächlich zweierlei Bestandteile, nämlich hellere rötliche und dunklere bläuliche oder grünliche Stellen, welche in ihrer Lage und Begrenzung keinerlei Veränderungen erkennen lassen; die erstern Partien sind Festländer, die letztern Meere, und äußerst eingehende Studien haben es ermöglicht, eine annähernd genaue Karte des größten Teiles der Oberfläche des Planeten zu geben. Die interessantesten Aufschlüsse finden wir in den Karten von Schiaparelli, welche unsre Kenntnis so weit gebracht haben, daß jetzt nur noch die nördlich vom 60.° nördlicher Breite gelegenen Gegenden wenig bekannt sind (vgl. die beigeheftete Tafel „Die Marshemisphären").

Bei einem Vergleiche mit der Erde ergibt sich vor allem, daß das Verhältnis vom Meere zum Festlande ein sehr verschiedenes ist, indem das vom Wasser bedeckte Areal auf dem Mars viel geringer ist als bei uns und nur etwa die Hälfte der ganzen Oberfläche einnimmt. Trotzdem aber gibt es keine großen Kontinente auf dem Mars, sondern alles Land besteht aus einer sehr bedeutenden Anzahl ansehnlicher Inseln, die durch Meereskanäle voneinander getrennt und namentlich in der heißen Zone angehäuft sind, während gegen die Pole offeneres Meer vorhanden ist. Zunächst liegt unter dem Äquator eine geschlossene, dicht gedrängte Reihe großer Inseln, welche nur durch schmale, der Mehrzahl nach nordsüdlich, teilweise auch ostwestlich verlaufende Kanäle voneinander getrennt sind; man hat diese Inseln und Meeresstraßen mit Namen belegt, die auf unsrer Karte (S. 87) wiedergegeben sind. Mitten durch diese äquatoriale Landanhäufung läuft um den ganzen Mars herum eine zusammenhängende Wasserstraße. Südlich von diesem Komplexe folgt, ungefähr zwischen dem 30. und 60.° südlicher Breite, eine zweite Inselreihe, welche jedoch keinen ganz geschlossenen Gürtel rings um den Mars bildet, sondern an zwei Stellen ansehnliche Unterbrechungen erleidet. An einzelnen Punkten sind schmale Landverbindungen zwischen Inseln dieser Gruppe und solchen der Äquatorialregion vorhanden, so daß das Meer zwischen beiden keinen ganz zusammenhängenden Kanal darstellt. Noch weiter nach Süden, zwischen dem 60. und 80. Breitengrade, liegen noch einige Inseln, im übrigen ist die ganze Polarregion offenes Meer. Die nördliche Halbkugel ist noch nicht so genau untersucht wie die südliche, scheint aber in der Hauptsache ähnlich gebaut zu sein wie diese; doch reichen die Inseln dort weiter gegen den Pol, und das freie Meer, welches diesen umgibt, ist kleiner als das auf der Südhalbkugel. Die sehr große helle Fläche, die auf dem Planiglobe den Nordpol umgibt, entspricht nicht einer thatsächlich beobachteten so großen Ausdehnung des festen Landes, sondern ist einfach aus Mangel an ausreichenden Beobachtungen weiß gelassen; hoffentlich wird bei nächster Gelegenheit, wenn dieser Teil des Planeten sich einmal in einer für die

A.



B.

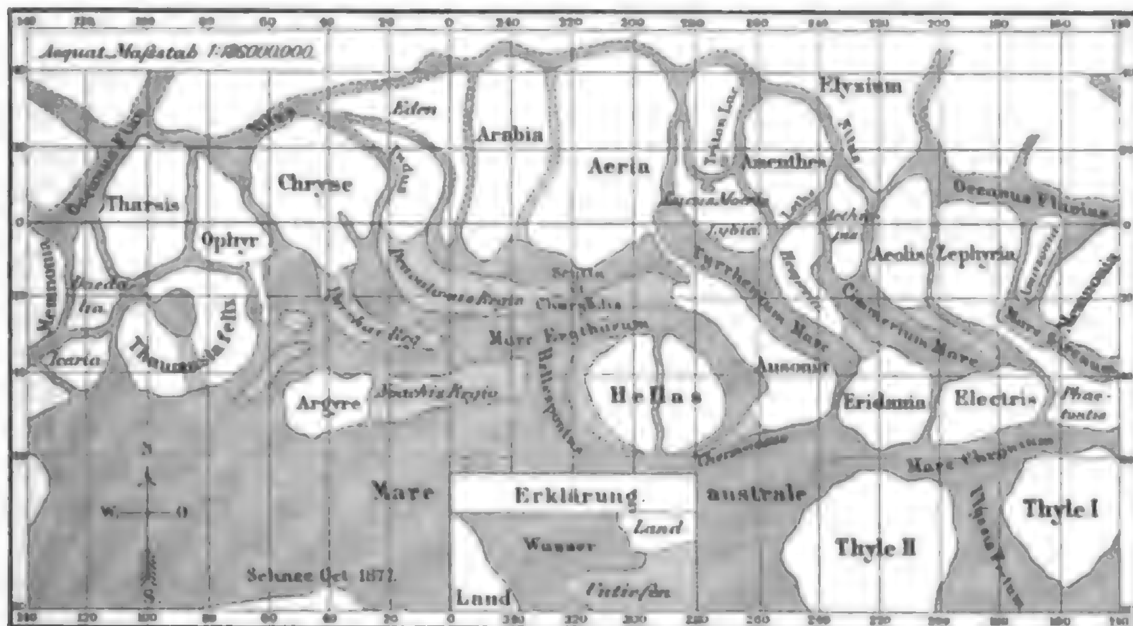


DIE MARSHEMISPHAREN.

A. Nördliche Hälfte B. Südliche Hälfte

Untersuchung günstigen Lage darstellt, diese Lücke ausgefüllt werden. Während im allgemeinen Land und Wasser gut zu unterscheiden sind, gibt es auch einige Stellen, an welchen die Auffindung einer Grenze zwischen beiden schwierig ist, und diese Stellen kann man mit großer Wahrscheinlichkeit als weit ausgedehnte Untiefen betrachten, über welchen das Wasser heller ist als im offenen Meere, aber doch das Licht weniger stark reflektiert als die Festländer.

Die größten Inseln, die auf dem Mars beobachtet wurden, mögen etwa die Ausdehnung des europäischen Rußland haben; welchen Umfang die kleinsten derselben aufweisen, läßt sich nicht feststellen, da die untere Grenze nicht durch die Dimensionen der Länder, sondern durch die Leistungsfähigkeit der angewandten Instrumente gegeben ist. Das Fernrohr, mit welchem Schiaparelli beobachtete, gestattete, eine Insel etwa von der Größe von Sizilien noch deutlich zu unterscheiden, kleinere waren nicht mehr sichtbar; daß solche



Karte eines Teiles der Oberfläche des Planeten Mars (nach Schiaparelli).

nicht existieren sollten, ist sehr unwahrscheinlich, und man wird solche vermutlich auch entdecken, wenn man ähnliche Arbeiten mit einem der gewaltigen Rieseninstrumente neuester Konstruktion vornimmt.

Dasselbe wie vom Lande gilt natürlich auch vom Wasser. Auch hier ist der Beobachtung ihre Grenze gezogen durch den Umstand, daß Wasserflächen von der Größe des Golfes von Suez oder des Tanganikasees in Südafrika eben noch sichtbar waren, während Objekte wie das Adriatische oder das Rote Meer sich sehr deutlich präsentierten. Enge Meereskanäle dagegen, wie der Bosporus, die Dardanellen, die Straße von Malakka, würden nicht mehr hervortreten, weshalb es sehr wohl möglich ist, daß manche der Marsinseln, die man jetzt für einheitlich hält, in Wirklichkeit in mehrere zerfallen; ja, für einige derselben haben die Beobachtungen von 1879 gegenüber jenen von 1877 schon ein derartiges Resultat ergeben. Schiaparelli gibt sogar an, daß die bisher verzeichneten Kanäle wohl nur die gröbsten Umrisse der Verzweigungen angeben, daß an manchen Stellen feine und nicht mehr genau verfolgbare Wasserfäden ins Innere des Landes einzudringen scheinen. Unter ganz ausnahmsweise günstigen atmosphärischen Verhältnissen war es einige Male für Augenblicke, als würde ein Schleier weggezogen, und nun schien die Oberfläche ein Netz von überaus feinen Kanälen und kleinen Inseln zu zeigen; aber so flüchtig waren

diese Momente, daß keine genaue Beobachtung, ja kaum ein klares Bewußtsein des Gesehenen möglich war[1].

Eine weitere wichtige Bemerkung, die schon vor längerer Zeit gemacht wurde, ist, daß sowohl am Nordpole als am Südpole des Mars sich glänzende weiße Flecke befinden, welche mit den Jahreszeiten bedeutenden, regelmäßig wiederkehrenden Veränderungen in Größe und Form unterworfen sind; auch dort herrscht wie auf der Erde das Verhältnis, daß der Nordpol Sommer hat, wenn am Südpole Winter ist, und es zeigt sich nun, daß jeder Pol während seines Winters eine große weiße Kappe trägt, die im Sommer stark zusammenschmilzt. Es kann danach mit Sicherheit geschlossen werden, daß wir es mit weiten Schneefeldern zu thun haben, welche bei ihrer größten Ausdehnung im Durchschnitte einen Durchmesser von etwa 300 geographischen Meilen besitzen. Auf den beigegebenen Marsplanigloben sind Lage und Form dieser Schneefelder für Ende des Jahres 1879 eingezeichnet, für eine Zeit etwas nach der Marssonnenwende, in welcher die nördliche Halbkugel Winter und die stärkste Ausdehnung des Schnees hatte, während dieser auf der südlichen Halbkugel aufs äußerste eingeschrumpft war. Die nördliche Schneekappe sendet aus der eigentlich polaren Gegend mehrere Fortsätze nach Süden, von denen einer, durch besondere Länge ausgezeichnet, bis zum 34. Breitengrade reicht; außerdem sind noch zwei kleine isolierte Schneefelder, vielleicht kleinen Tafelländern entsprechend, zwischen dem 10. und 30. Breitengrade vorhanden.

Da die Polarregionen des Mars, wie wir es wenigstens für den Süden sicher wissen, offenes Meer besitzen, so muß dieses offenbar zufrieren, ehe Schneemassen auf demselben liegen bleiben können, und die Ausdehnung der Schneefelder von 300 Meilen gibt uns daher auch den Durchmesser des zusammenhängenden Polareises während des Winters. Am Südpole beginnt dann in der warmen Jahreszeit das Abschmelzen, allein noch 14 Tage vor der Sommersonnenwende hatte der weiße Fleck im Jahre 1877 einen Durchmesser von fast 180 Meilen; zur Zeit der Sonnenwende betrug derselbe noch etwa 120 Meilen, 46 Tage später aber war er zu einer winzigen dreieckigen Partie von 50 Meilen Länge eingeschrumpft, worauf dann wieder eine Zunahme stattfand. Es stimmt das ganz mit den irdischen Verhältnissen überein, wo auch der geringste Grad der Vereisung an den Polen mehrere Wochen nach dem längsten Tage, also für unsre Hemisphäre zu Ende August, eintritt. Der letzte dreieckige Schneerest auf der südlichen Halbkugel des Mars bleibt immer an derselben Stelle, nicht genau am Pole, sondern wenige Grade von demselben entfernt, und es ist ziemlich wahrscheinlich, daß hier eine völlig vereiste Insel oder eine Untiefe im Meere vorhanden ist, welche das Eis festhält. Es sind das Beobachtungen, die von Wichtigkeit für den Geologen sind, weil man Folgerungen über die Eiszeit der Erde daran zu knüpfen gesucht hat, die wir noch zu besprechen haben werden.

Sehr bedeutende Abweichungen von den Verhältnissen der Erde herrschen in der Verteilung des Wassers auf dem Mars; daß das Meer nur etwa die Hälfte seiner Oberfläche einnimmt, haben wir schon gesehen, außerdem aber nehmen die Astronomen auch geringe Tiefen für die Ozeane an, und somit wäre die gesamte Masse des Wassers eine sehr kleine. Als charakteristische Züge treten hervor die Konzentration des Landes um den Äquator und das Fehlen aller großen, dominierenden Kontinente, welche durch die Menge der Inseln

[1] Im Jahre 1879 gab ein Beobachter an, daß ihm die Kanäle zwischen den Marsinseln doppelt erschienen seien, in der Weise, daß jeder derselben seiner ganzen Länge nach durch einen Damm in der Mitte in zwei geteilt gewesen wäre; man wollte daraus schließen, daß man es mit Kunstbauten, etwa mit Schiffahrtskanälen, zu thun habe. Bei aller Hochachtung vor den möglicherweise vorhandenen Marsbewohnern scheint die Annahme von Kanalbauten von der Breite des Roten oder des Adriatischen Meeres zum mindesten sehr bedenklich und darf wohl bei Erklärungsversuchen unberücksichtigt bleiben.

ersetzt sind; aber noch weitere Differenzen ergeben sich, wenn wir die Reliefformen betrachten: nirgends finden sich Spuren jener energisch hervortretenden Linien, welche die Erde der Anwesenheit ihrer großen Kettengebirge verdankt. Das Fehlen einer kräftigen Modellierung tritt, wie Schiaparelli bemerkt, noch mehr hervor, wenn man berücksichtigt, daß auch die größern Inseln nur Archipele dicht gedrängter kleiner Inseln zu sein scheinen, die von schmalen Wasserstraßen geschieden werden. Betrachtet man ferner die Richtung der Hauptkanäle, die vom Äquator ausgehen, so fällt, wie auch Schiaparelli schon erwähnt, die Eigentümlichkeit auf, daß dieselben zum großen Teile in der Richtung der Passatwinde liegen, deren Vorhandensein auf dem Mars man offenbar auch annehmen muß, und daß demnach die Einwirkung des Meeres und seiner Wellen auf die Kontinente eine weit größere sei als diejenige der gebirgsbildenden Vorgänge, welche in dieser Beziehung auf der Erde entschieden das Übergewicht behaupten.

Ehe wir die Betrachtung des Mars verlassen, drängt sich uns noch eine Frage auf. Wir haben auf dem Mars zwar vielfach Verhältnisse gefunden, die von den unsrigen verschieden sind, aber in manchen wesentlichen Punkten herrscht Übereinstimmung; wir sehen dort Land und Wasser, Wolken und eine Atmosphäre, welche nicht erheblich von der unsern verschieden scheint, die Temperatur kann keine sehr hohe sein wegen der großen Entfernung von der Sonne, es herrscht aber auch keine exzessive Kälte, da das Polareis im Sommer zum größern Teile abschmilzt: existiert nun dort organisches Leben, grünt frischer Pflanzenwuchs, und regt sich eine tierische Bevölkerung auf dem Mars? Nach dem soeben Gesagten ist es sehr wahrscheinlich, daß die Möglichkeit hierfür gegeben ist; ob aber Organismen wirklich vorhanden sind, dafür hat die Wissenschaft keine bestimmte Antwort. Es widerstrebt uns allerdings, einen Weltkörper, der für die Aufnahme von Bewohnern geeignet ist, für wüst und öde halten zu sollen. Wer die Entstehung des Lebens der direkten Wirkung eines Schöpfers zuschreibt, wird sich nicht denken können, daß dieser eine Wohnstätte bereite, ohne sie zu bevölkern; wer die Entstehung der Organismen als Produkt selbständiger Urzeugung betrachtet, wird nicht verstehen können, warum das Zusammenwirken derselben Stoffe und Kräfte auf dem Mars nicht dieselbe Wirkung gehabt haben sollte wie auf der Erde. Wir werden es daher als sehr wahrscheinlich ansehen, daß unser Nachbarplanet bewohnt sei; einen Beweis dafür haben wir aber nicht. Dagegen scheint uns die Annahme etwas gewagt, daß auch die Entwickelung der Organismen mit derjenigen der Erde so weit übereinstimme, daß man von Tieren und Pflanzen sprechen kann; es ist im Gegenteile möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß dieselben wegen einer ganz eigentümlichen Ausbildung in keins unsrer Reiche einzureihen sind. Wenn man sich vollends damit beschäftigt, welche geistigen Fähigkeiten die mutmaßlichen Menschen des Mars besitzen, unter welchen Verhältnissen und sozialen Einrichtungen sie leben, wie das wohl von manchen Seiten geschehen ist, so hören derartige Phantasien auf, wissenschaftliche Beachtung zu verdienen; sie sind ein artiges Spiel, das für Jules Verne einen dankbaren Romanstoff liefern mag, aber nicht mehr.

Beiläufig sei hier noch die Frage nach der Bewohnbarkeit andrer Weltkörper kurz erwähnt; es ist das ein Problem, welches komplizierter ist, als es auf den ersten Blick erscheint. Auf der Erde ist das Leben an das Vorkommen gewisser sehr zusammengesetzter Verbindungen des Kohlenstoffes mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff rc. gebunden, vornehmlich an die sogenannten Eiweißstoffe. Diese haben fast alle die Eigentümlichkeit, bei einer Wärme von 70° C., also noch ziemlich weit unter der Siedehitze des Wassers, zu gerinnen; es kann also in der Regel kein Leben existieren, wenn die Temperatur höher ist, obschon einzelne niedere Tiere bei noch etwas größerer Wärme fortkommen sollen; ebensowenig sind die Lebensbedingungen gegeben, wenn die Temperatur bleibend unter dem Gefrierpunkte

verharrt. In dem ungeheuern Abstande zwischen der eisigen Kälte des Weltraumes und der furchtbaren Glut der Sonne und der Sterne ist also nur ein verschwindend kleiner Spielraum, innerhalb dessen organisches Leben in unserm Sinne möglich ist. Außerdem müssen Kohlensäure, Wasser, Sauerstoff, Stickstoff in genügender Menge und in gewissen Verhältnissen vorhanden sein; kurzum, es bedarf des Zusammentreffens überaus vieler Bedingungen. Alle Fixsterne mit eignem Lichte sind wegen ihrer hohen Temperatur von vornherein ausgeschlossen, ebenso die Nebelflecke, während die Kometen außer den Zeiten ihrer Sonnennähe viel zu wenig Wärme erhalten. Unter allen uns sichtbaren Himmelskörpern können also nur die Planeten Organismen enthalten, unter ihnen haben aber wohl Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zu hohe eigne Temperatur; die Asteroiden und Monde haben teils keine oder nur Spuren einer Atmosphäre, teils sind sie zu weit von der Sonne entfernt, um von ihr die erforderliche Wärmemenge zu erhalten. Für Mars und vermutlich auch für Venus, die von der Sonne etwa doppelt soviel Wärme erhält wie die Erde, dürfen wir die Möglichkeit der Existenz von Organismen annehmen, während auf dem Merkur infolge seiner bedeutenden Sonnennähe die Hitze schon zu groß sein dürfte.

Unter der ungeheuern Menge der uns sichtbaren Himmelskörper sind es also nur zwei, welche möglicherweise organisches Leben, wie wir es auf der Erde kennen, auf ihrer Oberfläche beherbergen. Da aber vermutlich Fixsterne zum großen Teile von Planeten umgeben sind, so ist es sehr wohl möglich, daß unter diesen sich eine Menge von Körpern findet, welche dieselben Bedingungen bieten. Wir haben bisher angenommen, daß die Existenz des Lebens an das Vorhandensein von Eiweißstoffen gebunden sei; auch haben wir keinen positiven Anhaltspunkt, davon abzugehen. Immerhin wäre die Hypothese nicht absurd, daß unter uns unbekannten Temperaturverhältnissen andre Grundstoffe dem Eiweiße analoge Verbindungen bilden, welche das Substrat für verwickelte chemische und physikalische Prozesse abgeben könnten, jenen ähnlich, die wir an Tieren und Pflanzen beobachten und als Leben bezeichnen. Wiewohl eine solche Vermutung nicht in den Bereich der Unmöglichkeit gehört, kann sie doch auch keine Grundlage für weitere Schlüsse abgeben.

Der Mond.

Als letztes Glied in der Reihe der Himmelskörper, die mit der Erde verglichen werden sollen, mag der Mond betrachtet werden; die verhältnismäßig große Nähe unsers Trabanten hat äußerst genaue Untersuchungen seiner Oberfläche gestattet, deren Ergebnisse in Karten niedergelegt sind. Wenn wir z. B. die riesige Mondkarte betrachten, welche Julius Schmidt in Athen als Resultat langjähriger Arbeiten veröffentlicht hat, so können wir uns der Einsicht nicht verschließen, daß wir mit der Topographie des größern Teiles unsrer irdischen Kontinente bei weitem nicht so vertraut sind wie mit derjenigen der uns allein sichtbaren Seite unsers Satelliten. Für die Beurteilung der irdischen Verhältnisse sind leider diese sonst sehr wichtigen Untersuchungen von verhältnismäßig geringer Bedeutung, da die Beschaffenheit des Mondes von jener der Erde so verschieden ist, daß eine Parallele zwischen beiden nur ganz unsichere Ergebnisse liefert.

Drei Erscheinungen sind es namentlich, welche dem Monde eine überaus seltsame, fremdartige Physiognomie verleihen: das Fehlen einer Atmosphäre, das Nichtvorhandensein von Wasser an der Oberfläche und das vollständige Vorherrschen kraterförmiger Ringgebirge in der Oberflächengestaltung. Der Mangel von Luft und Wasser, der aus dem Fehlen einer Dämmerung auf dem Monde, aus der Beobachtung von Fixsternen, die hinter dem Monde vorübergehen, und manchen andern Umständen hervorgeht,

hat zu sehr weitgehenden Schlüssen über die Zukunft der Erde Anlaß gegeben. Der Mond als viel kleinerer Weltkörper befindet sich in einem viel weitern Stadium der Entwickelung, er soll uns ein Spiegelbild des Zustandes geben, der unserm Planeten bevorsteht: auch unsre Wohnstätte wird einst ohne Leben, Luft und Wasser, als erstarrte Ruine um die Sonne kreisen. Wir werden unten Gelegenheit haben, den Wert dieser Vorhersagung zu prüfen.

Kaum minder auffallend müssen die Reliefformen des Mondes erscheinen, die wir hier allerdings nur in flüchtigster Weise betrachten können; die Gebirge sind im Verhältnisse zu der geringen Größe des Gestirnes von außerordentlicher Höhe, indem sich einzelne derselben mehr als 5000 m über ihre Umgebung erheben. Weitaus am verbreitetsten sind



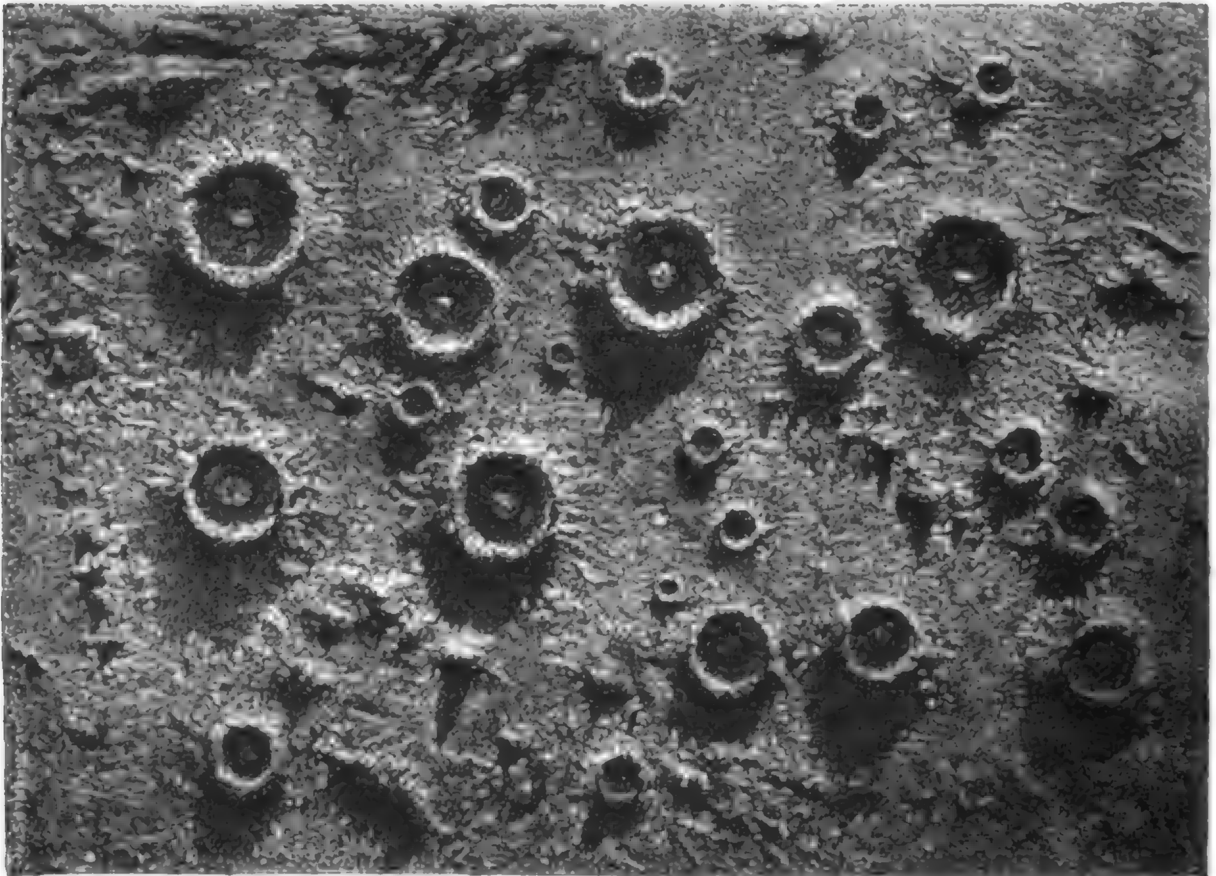
Der Vesuv und die Phlegräischen Felder bei Neapel, als Mondlandschaft gezeichnet (nach Nasmyth und Carpenter).

ringförmige Berge, welche in ihrer ganzen Bildung in der auffallendsten Weise an unsre irdischen Vulkane erinnern, und man nimmt in der Regel an, daß diese Gebilde in der That auf eruptive Thätigkeit zurückzuführen seien. Immerhin sind die Verhältnisse auf dem Monde so eigentümliche, und das Fehlen von Luft und Wasserdampf, die auf der Erde bei den vulkanischen Erscheinungen so wesentlich beteiligt sind, bildet einen so gewaltigen Unterschied, daß man in allen diesen Folgerungen sehr vorsichtig sein muß.

Daß die äußere Ähnlichkeit zwischen den Ringwällen des Mondes und den Vulkanen der Erde wirklich eine sehr große ist, zeigt ein Vergleich der beiden Abbildungen, S. 91 und 92; die eine stellt eine kleine Partie der Mondoberfläche, die andre die Umgebung von Neapel mit Vesuv und Monte Somma, mit den zahlreichen Kratern der Phlegräischen Felder, dem Astroni, dem Monte Nuovo, der Solfatara, dem Averner und Lucriner See &c., dar (vgl. oben). Diese Abbildung ist so gehalten, wie die Gegend, von einem fremden Himmelskörper aus gesehen, bei Sonnenbeleuchtung erscheinen würde, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte, d. h. unter den Verhältnissen, unter denen wir den Mond sehen.

Die Größe der Mondkrater ist sehr verschieden; von gewaltigen Ringen mit Durchmessern von 12 und mehr Meilen finden sich alle möglichen Übergänge bis zu den kleinen Formen, die mit den besten Instrumenten kaum mehr zu sehen sind, und sicher sind noch weit kleinere vorhanden, die wir nicht mehr zu erkennen im stande sind. Die Zahl der sichtbaren Ringberge beläuft sich auf der uns zugekehrten Seite des Mondes nach J. Schmidt auf fast 35,000.

Geradlinig angeordnete Höhenzüge, die unsern irdischen Gebirgsketten entsprechen, treten in weit geringerer Zahl auf, doch ist daran durchaus kein Mangel; der bedeutendste derselben, welcher den Namen der Apenninen erhalten hat (s. Abbildung, S. 93), besitzt eine Reihe außerordentlich hoher Gipfel. In den sogenannten Rillen, langgestreckten, meist geradlinigen



Mondlandschaft mit zahlreichen mittelgroßen und kleinen Ringbergen (nach Nasmyth und Carpenter). Vgl. Text, S. 91.

Vertiefungen, können wir vielleicht etwas vermuten, was den Spaltenbildungen und Brüchen auf der Erde analog ist; alle andern Erscheinungen im Monde, z. B. die sogenannten Meere, weite, kreisförmige dunklere Flächen, die ebenfalls von Wällen umgeben sind, haben so durchaus abweichenden Charakter, daß wir sie mit keinem irdischen Gebilde vergleichen können.

Vergangenheit und Zukunft der Erde.

Wir haben eine Reihe von Himmelskörpern betrachtet, welche sich in den verschiedensten Stadien befanden, vom losen, glühenden Gasballe der Nebelflecke bis zum Monde, der erstarrt und ohne Atmosphäre den Abschluß seiner Entwickelung gefunden zu haben scheint. Diese lange Abschweifung auf astronomisches Gebiet geschah in erster Linie, um die großartige Übereinstimmung zu zeigen, welche über das ganze Weltall in den Grundzügen der Bildungsvorgänge herrscht; wohin unser Auge sich in dem endlosen Raume richtet, weist

alle Beobachtung auf wesentliche Gleichheit in den großen Hauptpunkten hin, und wir besitzen darin ein unabweisbares Zeugnis, daß auch unser Planet sich in derselben Weise entwickelt hat. Wir erhalten dadurch das sichere Ergebnis, daß die Erde einst in heiß-



Mondlandschaft mit den Apenninen, dem Krater Archimedes rc. (nach Nasmyth und Carpenter). Vgl. Text, S. 92.

flüssigem, geschmolzenem Zustande war, und daß das Innere derselben noch einen mächtigen Wärmeschatz enthalten muß. Wohl haben sich zu verschiedenen Zeiten manche Forscher abgemüht, einer andern Auffassung Geltung zu verschaffen, den

Ursprung der Erde durch Erstarrung ursprünglich flüssiger Massen und das Vorhandensein hoher innerer Erdwärme in Frage zu stellen; allein alle diese Versuche scheitern an der Einsicht in die Verhältnisse der Sternenwelt, um so mehr, als auch die Beobachtung der irdischen Vorgänge ihnen wenig günstig ist. Dadurch erhalten wir sichern Boden für die Beurteilung der wichtigsten geologischen Fragen, für die Deutung der Vulkane, der Erdbeben, der Gebirgsbildung. In zweiter Linie mögen sich an die gewonnenen Ergebnisse einige Ausblicke in die Zukunft der Erde öffnen, obwohl es sich hier bei der großen Unsicherheit des Bodens, auf dem sich alle Hypothesen erheben, nur um eine strenge Beurteilung der verschiedenen sehr verbreiteten Ansichten, nicht um die Aufstellung irgend einer bestimmten Meinung handeln kann.

Die Vergangenheit unsrer Erde ergibt sich aus dem Gesagten, wenigstens in den großen Hauptzügen, fast von selbst; anfangs ein Teil eines rotierenden Nebelfleckes, sonderte sie sich bei fortschreitender Zusammenziehung und Abkühlung von der zentralen Masse ab und begann ihre Umdrehung um die Sonne und um ihre eigne Achse. Sie durchlief die Stadien eines im Vergleiche zu den Fixsternen allerdings verschwindend kleinen weißen, später gelben Sternes, Flecke, ähnlich den Sonnenflecken, erschienen und mehrten sich, und unser Planet trat, vermutlich unter Annahme roter Farbe, in die Periode der veränderlichen Leuchtkraft ein; vielleicht fanden auch gegen Ende dieser Epoche bisweilen heftige Eruptionen von glühenden Gasen aus dem Innern und damit ein helleres Aufflammen statt. Endlich war die ganze Oberfläche so weit abgekühlt, daß auch die letzten Spuren selbständigen Leuchtens aufhörten, und die Temperatur so weit ermäßigt, daß Wasser auf der Oberfläche in tropfbarflüssiger Form existieren und organisches Leben sich entwickeln konnte.

Weit schwieriger ist die Beurteilung der Zukunft der Erde. Allerdings bietet uns hier die Betrachtung des Mars manche Anhaltspunkte, da dieser weiter von der Sonne entfernt und kleiner als die Erde ist und sich offenbar in einem weit vorgeschrittenern Stadium der Entwickelung befindet; allein die Annahme wäre unvorsichtig, daß in spätern Perioden sich alles bei uns genau so gestalten werde, wie es jetzt auf dem Mars ist, da wir nicht sicher wissen, ob nicht auch sehr beträchtliche ursprüngliche Verschiedenheiten zwischen den beiden benachbarten Planeten existieren. Vor allem ist dies bezüglich einer wichtigen Frage der Fall: wir haben gesehen, daß auf dem Mars die Meere sehr geringe Ausdehnung haben, und daß überhaupt die Wassermenge auf seiner Oberfläche weit geringer ist als auf der Erde; ist dies eine Folge einer allmählichen Einsaugung des Wassers nach der Tiefe, wie sie dann auch für die Erde angenommen werden müßte, oder war von allem Anfange an die Wassermasse auf dem Mars geringer als bei uns? Falls die erstere Voraussetzung richtig ist, müssen wir auch annehmen, daß auf beiden Weltkörpern das Wasser endlich ganz von der Oberfläche verschwinden werde, und daß sie beide schließlich in einen atmosphärelosen Zustand übergehen, wie wir ihn jetzt am Monde sehen. Ein solcher Analogieschluß scheint außerordentlich naheliegend und plausibel, und es hat auch die Mehrzahl der Geologen, welche sich mit derartigen Spekulationen befaßt haben, diese Auffassung angenommen; trotzdem werden wir sehen, daß dabei wichtige Thatsachen nicht genügend berücksichtigt sind, und daß daher diese Hypothese auf ziemlich schwachen Füßen steht.

Wo immer Steinbrüche, Bergwerke ꝛc. die Gesteine aufschließen, findet man die letztern stets von Feuchtigkeit durchdrungen; ferner enthalten sehr viele Gesteine einiges Wasser chemisch gebunden. Ist die Erde in einem allmählichen und fortwährenden Abkühlungsprozesse begriffen, so werden immer neue Gesteinsmassen befähigt, Wasser in sich aufzunehmen, und dem Wasservorrate der Erdoberfläche wird damit ununterbrochen ein gewisser Betrag entzogen; nun scheint allerdings dieser Verlust außerordentlich gering, allein eine genaue Berechnung ergibt, daß diese Geringfügigkeit nur für den Augenblick besteht,

daß aber auf die Dauer die Menge des Wassers, welche im Verlaufe langer Zeiträume gebunden werden müßte, eine überaus große ist und der Erdkörper daher in der That befähigt scheint, die ganzen Meere allmählich einzusaugen. Alles Wasser des Ozeanes würde, ganz abgesehen von der Bildung wasserhaltiger chemischer Verbindungen, nicht ausreichen, um die ganze Masse des Erdballes mit „Bergfeuchtigkeit“ zu durchtränken.

Ähnlich soll es den Gasen der Atmosphäre ergehen; bei der Verwitterung zahlreicher Gesteine entstehen Kohlensäureverbindungen, kohlensaurer Kalk, kohlensaure Magnesia, kohlensaures Eisenoxydul, und überall in der Natur finden wir ungeheure Massen von Kalkstein und Dolomit, welche ihren hohen Gehalt an Kohlensäure der Atmosphäre entzogen haben müssen; Mollusken, Korallen, Seeigel und andre Tiere bauen ihre Gehäuse aus kohlensaurem Kalke. Endlich absorbiert die Vegetation große Massen von Kohlensäure, die durchaus nicht gänzlich durch Verwesung wieder frei wird, sondern zu einem beträchtlichen Teil als Torf, Braunkohle, Steinkohle zc. in der Erde gebunden bleibt. Den Sauerstoff der Luft nehmen Eisen und Eisenoxydul an sich, so daß nur der Stickstoff übrigbleiben würde, nachdem durch das Verschwinden von Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff schon längst alles Leben unmöglich geworden wäre.



Schlackenkegel eines Lavastromes am Vesuv (1852).

Die Richtigkeit aller dieser Annahmen zugegeben, würden allerdings organisches Leben und Meer verschwinden; aber trotzdem würde sich noch keine Ähnlichkeit mit dem Monde herausstellen, da der Stickstoff zurückbliebe, welcher vier Fünftel der Luft ausmacht. Zwar gibt man in der Regel an, auch dieser werde allmählich verschwinden, doch ist man meist sehr in Verlegenheit um die Angabe, wie dies geschehen soll; es ist kein Vorgang bekannt, durch welchen der Stickstoff wesentlich abnehmen sollte, es würde daher immer noch eine allerdings nur aus diesem einen Gase bestehende Atmosphäre vorhanden sein, welche einem Barometerdrucke von etwa 600 mm entspräche, während der Mond nichts Derartiges aufzuweisen hat.

Allein bei allen diesen Vermutungen ist eine Thatsache von entscheidender Bedeutung vollständig außer Rechnung geblieben, die schon oben erwähnte, unter Umständen sehr bedeutende Absorption der Gase durch Flüssigkeiten und speziell durch heiße geschmolzene Massen. Versuche mit Silber, welches unter einer Decke von Salpeter geschmolzen und bei der Abkühlung unter die Luftpumpe gebracht worden war, ergaben eine äußerst heftige Entwickelung von Sauerstoff und zwar so reichlich, daß die ausgeschiedene Menge des Gases das Volumen des Silbers, in welchem sie absorbiert gewesen war, 22mal übertraf; 1 Liter geschmolzenes Silber kann also 22 Lit. Sauerstoff in sich aufnehmen. Ähnliche Beobachtungen wie in unsern Laboratorien können wir aber auch in der Natur machen: wenn ein Lavastrom aus einem Vulkane hervortritt, so schiebt er sich in der Regel als zähe glühende Masse an den Gehängen des Berges in die Tiefe; seine Oberfläche erstarrt, aber unter dieser fest gewordenen Kruste schiebt sich die im Innern noch flüssige Lava immer weiter nach abwärts. In der erhärteten äußern Decke entstehen Risse und Sprünge, und solchen entströmen massenhaft und oft in stürmischer Weise Gase, vorwiegend Wasserdampf und Kohlensäure, welche in der Lava absorbiert gewesen waren; diese schleudern feste Teile mit in die Höhe, und durch Anhäufung der letztern um jene „Fumarolen“ entstehen auf der Oberfläche der Lavaströme neue, kleine Krater (s. obenstehende Abbildung).

Dasselbe Absorptionsvermögen, welches die in der Natur vorkommenden Laven besitzen, kommt offenbar nicht allein diesen Produkten der Vulkane zu, sondern muß allen geschmolzenen Gesteinsmassen eigen gewesen sein; wir wissen aber, daß ursprünglich unser ganzer Erdball in feurig-flüssigem Zustande sich befand, und alles spricht dafür, daß seine ganze Masse von absorbierten Gasen durchdrungen war, die dann in dem Maße frei wurden, wie die Gesteine erstarrten. Betrachten wir die ungeheure Masse der festen Felsgesteine, die alle diesen Prozeß durchgemacht und Gase abgegeben haben, und vergleichen wir damit die vorhandene Menge von Luft und Wasser, welche verhältnismäßig keine große genannt werden kann, so läßt sich ein ziemlicher Grad von Wahrscheinlichkeit der Auffassung nicht absprechen, daß das Wasser des Meeres und die Gase der Atmosphäre ursprünglich ganz oder zum größten Teile von den geschmolzenen Massen absorbiert waren und erst allmählich bei der Erkaltung dieser durch eruptive Vorgänge an die Oberfläche gelangten und den Ozean und die Lufthülle unsers Planeten bildeten.

Wie dem aber auch sei, mag in jenen Urzeiten Wasser und Atmosphäre wirklich ganz oder nur teilweise von der glühenden Masse absorbiert gewesen sein, jedenfalls kann so viel als sicher angenommen werden, daß sehr bedeutende Massen von Wasserdampf, von Kohlensäure, Sauerstoff 2c. gebunden waren und allmählich frei wurden. Derselbe Prozeß dauert in ähnlicher Weise noch heute fort: es ist bekannt, daß in allen vulkanischen Distrikten ungeheure Mengen von Wasserdampf, Kohlensäure und andern Gasen frei werden; in kolossalen Massen werden sie von den Kratern ausgestoßen, sie entwickeln sich aus Lavaströmen und erhalten sich noch lange, nachdem alle andern Zeichen eruptiver Thätigkeit verschwunden sind. Auch außerhalb der vulkanischen Distrikte treten an zahllosen Punkten heiße und kalte Quellen auf, die namentlich Kohlensäure in großer Quantität enthalten. Als Beispiel für diese beträchtlichen Mengen wollen wir nur erwähnen, daß die aus einem Bohrloche bei Neu-Salzwerk strömende Quelle jährlich etwa 140,000 kg Kohlensäure liefert. Eine Schätzung der Quantität, welche auf diesem Wege jährlich der Erdoberfläche in ihrer ganzen Ausdehnung zugeführt wird, ist durchaus unmöglich; ebensowenig können wir aber auch nur entfernt berechnen oder taxieren, wieviel Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff in der oben angegebenen Weise als „Bergfeuchtigkeit“ durch Bildung wasserhaltiger Mineralien, durch Entstehung kohlensaurer Verbindungen, Oxydierung von Eisenoxydul, endlich durch die Lebensvorgänge der Organismen dem Meere und der Atmosphäre verloren gehen. Wir sind daher ganz außer stande, zu entscheiden, ob das freie Wasser an der Oberfläche der Erde sich vermehrt oder vermindert, und ob die Atmosphäre an Sauerstoff und Kohlensäure zunimmt oder abnimmt; ebensowenig wissen wir dies für die ganze Zeit, seit welcher Organismen auf der Erde existieren, noch haben wir hinreichende Anhaltspunkte für eine Beurteilung, wie lange die Vorräte von Wasser und Gasen im Erdinnern noch vorhalten werden. Ja, es ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die noch jetzt absorbierten Quantitäten bedeutend genug seien, um jeden möglichen Verlust zu decken. Sicher ist nur so viel, daß die in der Atmosphäre enthaltene Kohlensäuremenge in wenigen Jahrtausenden verbraucht wäre, wenn dieser Stoff nicht fortwährend aus dem Innern der Erde sich erneuern würde; Vulkane, Mofetten und Quellen, welche Kohlensäure ausströmen, sind darum die Erhalter des organischen Lebens auf der Erde.

Wenn demnach oft behauptet wird, daß das Leben auf der Erde durch das Verschwinden von Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff in fernen Zeiten einst untergehen *müsse*, so ist das immer nur die Annahme eines bloß möglichen Falles. Ebensowenig können wir mit Sicherheit sagen, daß das Ende der Organismen durch Kälte eintreten werde, wenn die Sonne ihre Wärme verloren haben wird; denn wir wissen durchaus nicht, ob die Sonne bis zu dem Grade, welcher das Leben auf der Erde unmöglich machen

würde, abgekühlt sein wird, ehe der Merkur auf den Zentralkörper fällt und diesen zu erneuter Glut anfacht; vielleicht wird dadurch das Leben auf der Erde so lange gefristet, bis es beim Sturze der Venus durch Hitze zu Grunde geht.

Wir sind hier etwas näher auf die Möglichkeiten, welche sich für die Zukunft unsrer Erde zeigen, eingegangen, nicht um uns in leere Vermutungen zu stürzen, sondern um zu zeigen, daß unser Wissen noch nicht weit genug fortgeschritten ist, eine Hypothese zu gestatten. Nur das eine wissen wir, daß das Leben auf der Erde nicht ewig dauern, sondern einst zu Grunde gehen wird, daß aber noch ungeheure Zeiträume verfließen müssen, ehe dieser Untergang sich vollzieht.

Man wendet allerdings ein, Mars, der etwas kleiner ist als die Erde, besitze weniger Wasser und schwächere Atmosphäre als diese, während dem sehr viel kleinern Monde beides vollständig fehle, und es sei daher ein sehr wichtiger Analogieschluß für die Richtigkeit der Annahme vorhanden, daß sich jene beiden Bestandteile an der Oberfläche der Erde vermindern. Allein auch dieser Schluß ist nicht zulässig, da ein andrer Körper des Planetensystemes ein ganz verschiedenes Verhalten zeigt. Unter den kleinen Asteroiden, deren Bahnen zwischen jenen von Mars und Jupiter liegen, ist Vesta der größte; trotzdem beträgt ihr Durchmesser nur 50 geogr. Meilen, während ihre mittlere Entfernung von der Sonne fast 2½mal so groß ist als die Erde. Der Mond hat einen Durchmesser von 469 Meilen, er ist also sehr viel größer und der Sonne bedeutend näher als Vesta; man müßte daher voraussetzen, daß letztere ihre Atmosphäre schon längst und in einer weit frühern Zeit als der Mond verloren habe. Allein die sorgfältigen und genauen Untersuchungen von Vogel haben an Vesta Spuren einer Atmosphäre nachgewiesen, und diese Thatsache wirft alle die Folgerungen, welche man aus dem Verhalten von Mars und Mond gezogen hat, vollständig über den Haufen. Es bleibt nichts andres übrig, als zwischen den einzelnen Gliedern des Planetensystemes die Existenz von ursprünglichen Unterschieden in der auf ihnen vorhandenen Menge an Wasser und atmosphärischen Gasen anzunehmen.

Von größerer Bedeutung sind die Folgerungen, welche sich aus der Verteilung von Land und Meer auf dem Mars für die Erde ergeben. Schiaparelli hat in dieser Richtung vor allem auf zwei Thatsachen aufmerksam gemacht: auf die Konzentrierung fast allen Landes nach dem Äquator hin und auf eine Zersplitterung des Festlandes in einer Weise, welche das Vorhandensein irgend welcher bedeutender Gebirgsbildung sehr unwahrscheinlich macht; es fehlen jene energischen Linien und jene kräftigen Konturen, welche die Erde dem Auftreten der Kettengebirge verdankt. Es ist bekannt, daß auf unsrer Erde Frost, Regen, rinnende Wasser, Brandung und andre Kräfte fortwährend an dem festen Baue des Landes nagen, die Gesteine auflockern und zerstören und deren verkleinerte Bestandteile mittelbar oder unmittelbar dem Meere zuführen. So gering diese Wirkungen auf den ersten Blick scheinen mögen, so sind sie doch außerordentlich mächtig dadurch, daß solche Vorgänge der „Erosion" fortwährend und an allen Teilen des Landes thätig sind. So bedeutend ist der Erfolg dieser Aktion, daß im Verlaufe einiger Millionen von Jahren vermutlich alle Kontinente und Inseln bis zum Meeresniveau abgetragen würden, wenn keine Kompensation für den fortwährenden Verlust einträte. Einen solchen Ersatz leistet vor allem die Gebirgsbildung, von der wir hier nur anführen wollen, daß sie ebenfalls eine sehr langsam wirkende Kraft ist, und daß sie bedingt wird durch die allmähliche Zusammenziehung, welche der Erdkörper bei seiner Abkühlung erleidet; durch die Aufrichtung der Gebirge wird das durch Erosion sich verwischende Relief der Landmassen wieder in kräftigen Zügen hervorgehoben, und durch Absenkungen von Landmassen an Spalten bis zu sehr bedeutenden Tiefen, welche Senkungsfelder vom Meerwasser ausgefüllt werden, wird das allgemeine Niveau des Ozeanes erniedrigt.

Solche Vorgänge wirken der Abtragung der Kontinente durch die zerstörende Einwirkung von Frost, Wasser ꝛc. entgegen; jedoch ist das Auftreten und die Stärke dieser Erscheinungen abhängig von der innern Wärme der Erde; wird sich diese einmal durch Abkühlung sehr stark vermindert haben, so wird eine weitere Kontraktion der Erdkruste nicht mehr oder nur noch in geringem Maße stattfinden, die Gebirgsbildung wird aufhören oder wenigstens nicht mehr die genügende Stärke besitzen, um dem Verluste, welchen die Festländer durch Erosion erleiden, das Gleichgewicht zu halten, und dann werden die Landmassen immer mehr eingeebnet werden, bis sie nur noch sehr wenig über den Meeresspiegel hervorragen.

Aber die Veränderungen würden sich wohl nicht darauf allein beschränken; die Verteilung des Meerwassers auf der Erdoberfläche scheint sich nicht gleichzubleiben, es wechseln aller Wahrscheinlichkeit nach in langen Zeiträumen Perioden, in welchen das Seewasser von den Polen zum Äquator abfließt, mit solchen ab, in denen das Gegenteil stattfindet; jetzt befinden wir uns auf der Erde gerade in einem Zeitraume, in welchem der Meeresspiegel am Äquator sehr hoch, an den Polen sehr niedrig steht. Wäre eine weitgehende Abtragung der Kontinente in einer Periode, wie die jetzige ist, erfolgt, und würde nun ein Abfließen von Wasser gegen die Pole stattfinden, so würde offenbar in der Umgebung dieser alles Land überflutet, und große Kontinentalmassen könnten nur zu beiden Seiten des Äquators auftreten, d. h. wir hätten eine Verteilung des Festen und Flüssigen, wie wir sie jetzt auf dem Mars sehen. In dieser Zeit aber würden, da das Meer in den tropischen Gegenden bedeutend seichter geworden ist, die Kontinente hier wieder hoch über das Wasser aufragen, die Erosion müßte ihre einebnende Thätigkeit von neuem beginnen. Ändert sich dann abermals das Verhältnis, und steigt der Meeresspiegel am Äquator an, dann wird hier alles von Wasser bedeckt, und die Landmassen werden sich um den Pol gruppieren. Wahrscheinlich sind es solche Vorgänge, welchen Mars seine jetzige Oberflächengestalt verdankt. Da er, wie erwähnt, viel kleiner als die Erde und erheblich weiter als diese von der Sonne entfernt ist, so hat er vermutlich die Wärme seines Innern schon großenteils verloren und infolgedessen die soeben genannten Veränderungen erlitten.

Es wäre wohl zu gewagt, wenn wir uns noch weiter auf das Feld der Spekulation einlassen wollten, um zu untersuchen, ob noch weitere Analogien zwischen dem künftigen Zustande der Erde und dem jetzigen des Mars vorhanden sind, ob z. B. bei dem besprochenen Prozesse die Kontinente dadurch in Inseln zerfallen müßten, daß ihre großen Flußläufe zu Meereskanälen würden[1]. Eine wesentliche Differenz zwischen beiden liegt in der größern Wassermenge der Erde; wenn aber die noch unerwiesene Annahme wirklich richtig sein sollte, daß das Wasser allmählich in die Tiefe der Erde versinkt, dann würde in der That die Ähnlichkeit eine außerordentlich große werden.

Der Versuch einer eingehenden Parallele zwischen Erde und Mond scheint uns wenig ersprießlich; der Mond zeigt uns allerdings das Bild eines erstarrten Weltkörpers, ob aber die Erde diesem Zustande entgegengeht, ist zweifelhaft, und jedenfalls besitzt der Mond noch eine solche Menge unerklärbarer Eigentümlichkeiten und ist von der Erde so radikal verschieden, daß ein wesentlicher Nutzen für das Verständnis der letztern aus einer Parallele zwischen beiden kaum resultieren dürfte.

---

[1] In diesem Falle wäre wohl die Richtung der Kanäle auf dem Mars nicht nur durch Passatwinde, sondern auch durch das Baersche Drehungsgesetz der Flüsse bedingt.

Die Meteoriten.

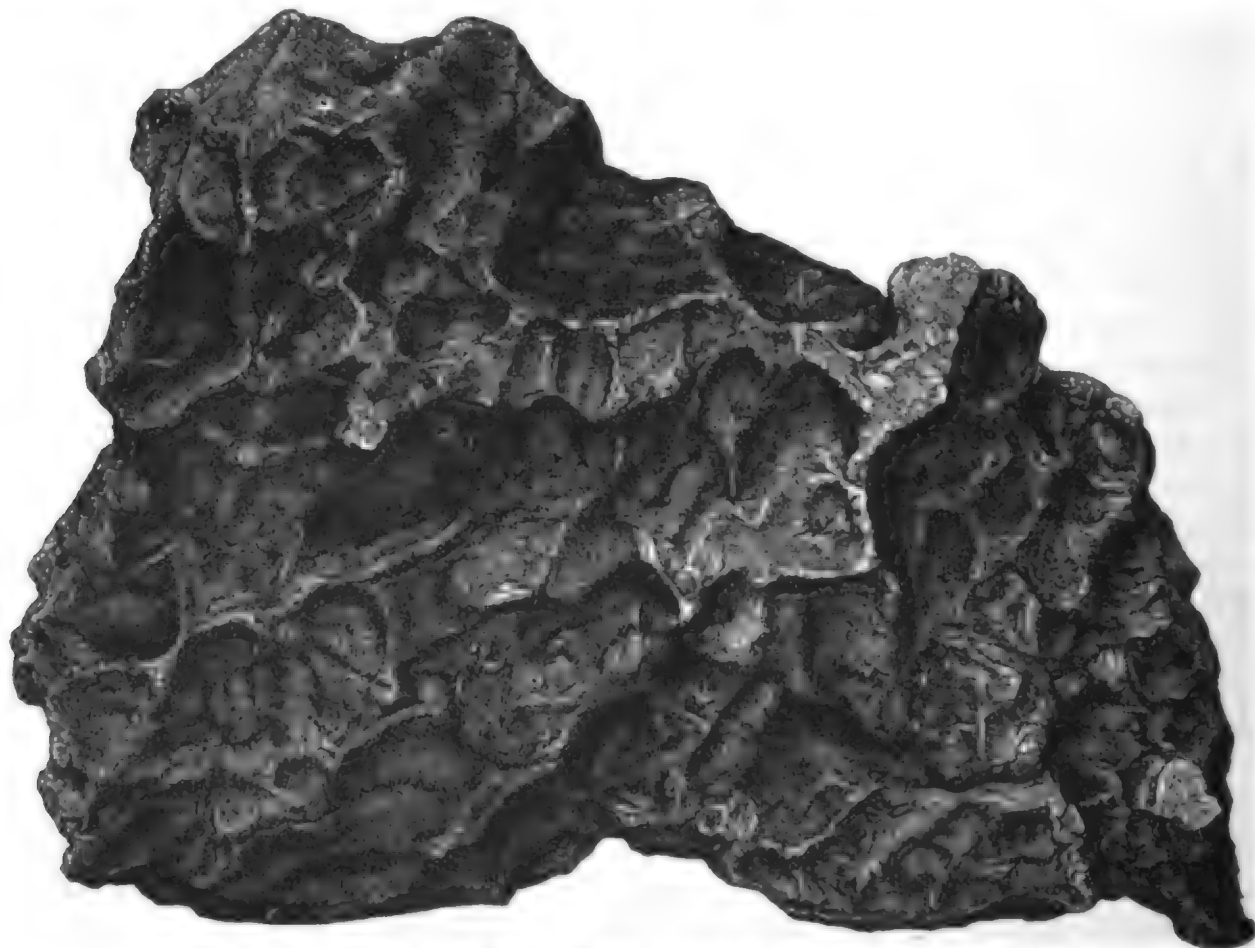
Waren wir bei den Fixsternen und Planeten auf die Untersuchung durch das Teleskop angewiesen, so ist uns eine unmittelbare chemische und physikalische Prüfung an jenen Gebilden vergönnt, welche aus den Welträumen auf die Oberfläche der Erde niederstürzen, an den Meteoriten oder Aerolithen. Diese merkwürdigen Ankömmlinge können wir der chemischen Analyse unterwerfen, Dünnschliffe von ihnen unter dem Mikroskop beobachten, sie mit den irdischen Mineralien und Gesteinen vergleichen und so ihnen eine Reihe der wichtigsten Aufschlüsse über die schwierigen Fragen entnehmen, die wir hier besprechen.

Die Erscheinungen beim Falle der Meteoriten sind oft gesehen worden; da aber wissenschaftliche Beobachter nur höchst selten in unmittelbarer Nähe waren, da ferner die Kürze der Dauer und die Überraschung eine richtige Beurteilung erschweren und die erhitzte Phantasie das ungewöhnliche Ereignis oft genug ausschmückt und entstellt, so ist es eine sehr schwierige Aufgabe, den richtigen Sachverhalt in den einzelnen Fällen festzustellen. In der Regel sieht man über weite Strecken hin eine glänzende Feuerkugel ziehen, die einen leuchtenden, meist längere Zeit hindurch sichtbaren Schweif zurückläßt; in der Nähe des Ortes, an welchem der Meteorit fällt, ist oft von einer Lichterscheinung nichts zu sehen, indem dieselbe von einem Wölkchen umgeben und verdeckt ist. Den Schluß der Bahn bezeichnet eine gewaltige Detonation, an die sich ein längeres Rollen mit schwächern Schlägen anzuschließen pflegt, das Meteor scheint zu platzen, und nun erfolgt der Niedersturz eines oder mehrerer Steine, welche glühend heiß oder auch ohne merklich erhöhte Temperatur die Erde erreichen, sich bald in den Boden einwühlen, bald an der Oberfläche liegen bleiben. Die geschilderten Umstände treten nicht immer in derselben Weise, nicht immer in dieser Gemeinsamkeit auf, doch würde es zu weit führen, wenn wir die Einzelheiten ausführlich schildern wollten; nur das sei erwähnt, daß Wolkenbedeckung des Himmels, Regen, Sturm und ähnliche Begleiterscheinungen, die bisweilen erwähnt werden, mit dem Falle der Aerolithen nichts zu thun haben; sie können zufällig zu derselben Zeit eintreten, stehen aber in keinem ursächlichen Zusammenhange.

Als ein Beispiel mag hier ein kurzer Bericht über den Meteoritenfall von Hraschina bei Agram vom 26. Mai 1751 folgen; derselbe erregte großes Aufsehen, selbst die Kaiserin Maria Theresia interessierte sich für die Sache, und in ihrem Auftrage ließ der Bischof von Agram an Ort und Stelle Zeugen vereidigen und ein Protokoll aufnehmen. Am genannten Tage um 6 Uhr abends sah man von Osten her ein glänzendes Meteor ziehen, das unter furchtbarem Knalle zersprang, dann folgte ein länger dauerndes Rasseln und Brausen, und es fielen zwei Steinstücke zur Erde, während das Meteor einen rauchähnlichen Streifen auf seiner Bahn zurückließ. Von den zwei Stücken war das größere „drei Ellbogen tief" in die Erde eines frisch geackerten Feldes eingedrungen; beide wurden nach Wien geschickt, das kleinere ist verschollen, das größere dagegen wird als eins der wertvollsten Exemplare in der berühmten Meteoritensammlung des Hofmineralienkabinettes in Wien aufbewahrt, in deren von Tschermak verfaßtem Kataloge dasselbe als Nummer 1 (mit einem Gewichte von 39,2 kg) figuriert. Der Steinfall von Hraschina gehört aus mehrfachen Gründen zu den interessantesten; zunächst, weil er einer der ältesten ist, von welchen ein genauer, urkundlich gut beglaubigter Bericht vorliegt, ferner, weil der Meteorit selbst erhalten ist (vgl. Abbildung, S. 100), und endlich, weil an diesem einer der eigentümlichsten Charaktere, der fast allen Meteoreisenmassen zukommt, das Auftreten der bald näher zu besprechenden „Widmanstättenschen Figuren", zuerst beobachtet wurde.

Wir fügen noch einen zweiten Bericht über einen Aerolithenfall bei, welcher sich am 26. April 1803 bei L'Aigle in der Normandie ereignete und der von Wichtigkeit in der

Geschichte der Wissenschaft darum ist, weil durch die über dieses Ereignis von dem berühmten Physiker **Biot** angestellten Untersuchungen die Zweifel endgültig zerstreut wurden, welche manche Gelehrte noch gegen das wirkliche Vorkommen von Meteoriten hegten. Bei heiterm Himmel sah man zu Caen, Falaise, Pont Audemer, Verneuil, Alençon, also in weit voneinander entfernten Gegenden, eine Feuerkugel, die sich rasch von Südost nach Nordwest bewegte; einige Augenblicke darauf hörte man in der Gegend von L'Aigle, in einem Bezirke von etwa 30 französischen Meilen im Durchmesser, eine starke Explosion, die 5—6 Minuten dauerte und einigen Kanonenschüssen, darauf folgendem Kleingewehrfeuer und einem schrecklichen Getöse, wie von vielen Trommeln herrührend, ähnlich gefunden wurde. Das Meteor



Der 39,2 kg schwere **Meteorit** vom Meteoritenfalle bei **Hraschina**. Vgl. Text, S. 99.

erschien dort nicht als Feuerkugel, sondern (wie mehrmals, z. B. bei Siena 1794, bei Knyahinya in Ungarn 1866, infolge Verdeckung durch den ausbrechenden Rauch) als ein kleines Wölkchen, welches ungefähr die Gestalt eines Rechteckes hatte, dessen größte Seite von Osten nach Westen gestellt war. Dieses Wölkchen schien stillzustehen (weil die Bewegung ganz gerade nach dem Zuschauer zu ging), nur einige Teile von den Dämpfen, aus denen es bestand, entfernten sich nach allen Richtungen durch die aufeinander folgenden Explosionen; es schien etwa ½ Meile gegen Nordwesten von L'Aigle entfernt zu sein und muß sich in beträchtlicher Höhe befunden haben, da die Einwohner von zwei Ortschaften, die über eine französische Meile auseinander liegen, es zu gleicher Zeit senkrecht über sich zu sehen glaubten. In der ganzen Gegend, über welcher das Wölkchen stand, hörte man ein Zischen wie von Steinen, die aus einer Schleuder geworfen werden, worauf eine große Menge von Meteorsteinen (etwa 3000) niederfiel. Die Gegend, über welche die Steine verteilt gefunden wurden, bildet eine elliptische Fläche von ungefähr 2½ Meilen Länge und 1 Meile Breite.

Die größten Steine sind am südöstlichen Ende der Ellipse gesammelt worden, die kleinsten am nordwestlichsten, die von mittlern Dimensionen in der Mitte; übrigens erreichte trotz der riesigen Menge der Stücke keins eine sehr bedeutende Masse, nur eins wies ein Gewicht von 17½ Pfund auf, während der kleinste der aufgefundenen Steine nur 2 Quentchen wog.

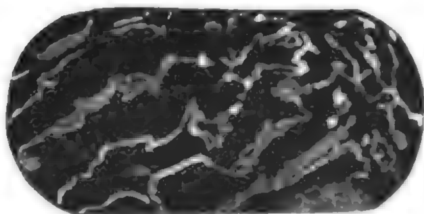
Ereignisse wie die geschilderten müssen in bewohnten Gegenden von einer Menge von Personen beobachtet werden und allgemeines Aufsehen erregen. Es ist daher natürlich, daß schon aus sehr alter Zeit Nachrichten über solche vorliegen, zumal da der Aberglaube stets geneigt ist, außergewöhnlichen Phänomenen eine übernatürliche Bedeutung zuzuschreiben. Allerdings ist bei der Deutung solcher Berichte große Vorsicht nötig, da es oft schwer zu entscheiden ist, ob sich dieselben wirklich auf Aerolithen oder auf außergewöhnlich starke Hagelschläge oder leichte Auswürflinge von Vulkanen beziehen, die unter Umständen über außerordentlich weite Strecken verweht werden können.

Die ältesten unzweideutigen Nachrichten verdanken wir den Chroniken der Chinesen, welche jedes Vorkommnis mit peinlicher Genauigkeit verzeichnen; der erste Fall wird von ihnen aus dem Jahre 694 v. Chr. angegeben, und von diesem Zeitpunkte an bis 333 n. Chr. hat Biot nach dem „Ma-tuan-lin" deren 16 aufgezählt. Die Berichte aus dem klassischen Altertume sind, wenigstens was die frühern Zeiten betrifft, bei weitem nicht so sicher, da es sich hier meist um die Mitteilung alter Traditionen durch Schriftsteller späterer Jahrhunderte handelt, die keine genügende Bürgschaft für ihre Richtigkeit bieten. Die Deutung, welche man einzelnen Stellen bei Homer in dieser Hinsicht hat geben wollen, ist sehr zweifelhaft, und auch die weit bestimmter lautenden Nachrichten über Steine, die zur Zeit des Eteokles, des Sohnes des Ödipus, zu Orchomenos in Böotien vom Himmel gefallen sein sollen, sind ziemlich unsicher. Die erste unzweifelhafte Nachricht aus griechischen Schriftstellern erhalten wir aus dem Jahre 465 vor unsrer Zeitrechnung über einen Aerolithen, der bei Ägospotamos am Hellespont in der Nähe des heutigen Gallipoli an jenem Orte fiel, an welchem später die letzte Entscheidungsschlacht des Peloponnesischen Krieges geschlagen wurde. Von da an bringen die griechischen und römischen Schriftsteller bisweilen Nachrichten über Aerolithenfälle. In Rom soll schon in alter Zeit, unter Numa Pompilius, das Ancile, eine schildförmige Metallmasse, vom Himmel gefallen sein, welche als eine Art von Talisman betrachtet wurde, wie auch anderwärts Steine, denen man einen ähnlichen Ursprung nachrühmte, in Tempeln als Gegenstände der Verehrung aufbewahrt wurden; so auf Kreta, in Theben, Ephesos, zu Pessinus in Phrygien und an andern Orten. Weitaus das größte Ansehen erwarb sich der 2 m hohe, Hadschar el Aswad genannte schwarze Stein, welcher in der südlichen Ecke der Kaaba zu Mekka eingemauert ist; Millionen von Menschen verehren ihn noch heute.

Besondere Kraft und Bedeutung wurde begreiflicherweise dem meteorischen Eisen beigemessen; dem Metalle, das vom Himmel kam, das ein unmittelbares Geschenk der Gottheit war, mußten wunderbare Wirkungen innewohnen. Namentlich im Oriente war der Glaube verbreitet an die siegbringende und vor Wunden schützende Macht meteorischen Eisens, und verschiedene Herrscher ließen sich Waffen aus niedergefallenen Massen solchen Meteoreisens schmieden. Um so merkwürdiger aber wurde die Sache dadurch, daß manches Meteoreisen sich nicht hämmern läßt, und daß daher oft alle Künste der erfahrensten Meister scheiterten. Es ist dabei auffallend, daß infolge der Zusammensetzung der meisten Meteoreisen aus verschieden harten Lamellen die aus denselben geschmiedeten Stücke genau das Aussehen von damasziertem Stahle haben (s. Abbildung, S. 102); ja, man kann der Ansicht nicht alle Berechtigung absprechen, daß die orientalische Technik der Herstellung damaszierter Klingen ihren Ursprung den Versuchen zur Nachahmung der wunderkräftigen Meteoritenschwerter verdanke.

Im Mittelalter und in der Neuzeit werden Berichte über Aerolithen immer häufiger.

Überall erregen sie das größte Aufsehen, zumal wenn sie von außergewöhnlichen, allerdings meist rein zufälligen Umständen begleitet sind; so der Fall von Ensisheim am 7. November 1492, den Kaiser Maximilian I. von Deutschland als eine Vorbedeutung benutzte, um die Christenheit zum Kampfe gegen die Türken aufzufordern[1]. Ein Steinregen bei Schleusingen in Thüringen am 19. Mai 1552 schlug viele Fenster ein und tötete das Leibpferd des Fürsten von Schwarzburg-Rudolstadt. Am 4. September 1511 wurde ein Priester zu Crema an der Adda von einem Meteoriten erschlagen. Angaben der bestimmtesten Art über Ereignisse, welche teilweise von Hunderten und Tausenden von Zeugen gesehen wurden und ganze Länder in Aufregung versetzten, liegen in beträchtlicher Anzahl vor, so daß ein Zweifel an der thatsächlichen Existenz von Aerolithen nahezu unmöglich und unvernünftig erscheint; um so mehr ist man erstaunt, zu sehen, daß im vorigen Jahrhundert fast alle Gelehrten die Nachrichten über derartige Vorkommnisse als auf Irrtum, Aberglauben und Fälschung beruhend erklärten und es für eine physische Unmöglichkeit hielten, daß Steine vom Himmel fallen. Als z. B. im Jahre 1790 die oben erwähnte Urkunde über den Meteoritenfall von Agram im Jahre 1751 veröffentlicht wurde, äußerte Stütz: „Daß das Eisen vom Himmel gefallen sein soll, mögen der Naturgeschichte Unkundige glauben, mögen im Jahre 1751 selbst Deutschlands aufgeklärtere Köpfe bei der damals unter uns herrschenden Ungewißheit in der Naturgeschichte und Physik geglaubt haben; aber in unsrer Zeit wäre es unverzeihlich, solche Märchen auch nur wahrscheinlich zu finden". Im Jahre 1790 ereignete sich zu Juillac in der Gascogne ein Meteoritenfall, über den die Gemeindebehörde höchst vernünftiger- und lobenswerterweise ein Protokoll aufnehmen ließ, welches über 300 Augenzeugen unterzeichneten. Als aber dieses Dokument der Pariser Akademie vorgelegt wurde, fand man eine obrigkeitlich beglaubigte Urkunde über einen derartigen Blödsinn sehr unterhaltend.



Gehämmertes Meteoreisen.
Vgl. Text, S. 101.

Das große Verdienst, hier der Wahrheit Bahn gebrochen zu haben, gebührt dem bedeutenden Physiker Chladni aus Wittenberg, dem Begründer der wissenschaftlichen Akustik; nachdem schon manche vor ihm richtige Ahnungen gehegt und geäußert hatten, war er es, der in einer im Jahre 1794 erschienenen Schrift[2] mit vollster Bestimmtheit nachwies: „erstens, daß öfters Stein- und Eisenmassen vom Himmel gefallen sind und dieses als historisch erwiesene Thatsache anerkannt werden muß; zweitens, daß dieses Ereignis identisch mit Feuerkugeln ist und diese nichts andres als eine solche brennende Masse sind; drittens, daß diese Massen kosmisch sind, d. h. Ankömmlinge aus dem Weltraume, welche vorher der Erde und ihrer Atmosphäre fremd waren". Es sind dies die eignen Worte Chladnis, in welchen er die Ergebnisse seiner epochemachenden Arbeit zusammenfaßt; nur vier Jahre waren verflossen, seit der urkundlich belegte Bericht über den Meteoritenfall von Juillac von der gelehrten Welt als eine Thorheit beiseite geschoben worden war, und es läßt sich ermessen, welchem Widerspruche der Forscher begegnete, als er dem Vorurteile seiner Zeit kühn und entschieden entgegentrat. Von allen Seiten wurde Chladni angegriffen, ja, ein Gelehrter ging so weit, zu sagen, wenn er einen solchen Stein zu seinen Füßen hätte niederfallen sehen, so würde er erklären, er habe es gesehen, aber er glaube es nicht; ein andrer rechnete Chladni wegen seiner Ansicht über die Meteoriten

---

[1] Der älteste Meteorit bekannten Datums, von welchem noch Stücke aufbewahrt werden.

[2] „Über den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen, von E. F. F. Chladni." Riga und Leipzig 1794.

„unter diejenigen, welche alle Weltordnung leugnen und nicht bedenken, wie sehr sie an allem Bösen in der moralischen Welt schuld sind“! Zum Glück brauchte Chladni nicht lange auf die allgemeine Anerkennung seiner Lehre zu warten; zufällig ereigneten sich kurz nach dem Erscheinen seines Werkes einige bedeutende Meteoritenfälle in Europa, die von einer Menge von Zeugen beobachtet und sorgfältig untersucht wurden; zuerst am 16. Juni 1794 in Siena, dann am 13. Dezember 1795. bei Woldcottage in Yorkshire, endlich vor allen wichtig am 26. April 1803 bei L'Aigle in der Normandie, und von da an war die Existenz von Aerolithen keinem ernsthaften Zweifel mehr unterworfen.

Die Zahl der mit voller Sicherheit beobachteten Meteoritenfälle ist keine sehr bedeutende, sie mag etwa 1000 betragen, und man kann rechnen, daß jetzt deren durchschnittlich drei in jedem Jahre aus Europa bekannt werden. Es mag das auf den ersten Blick sehr wenig erscheinen, allein wenn man bedenkt, wie klein Europa ist, und wie leicht ein Fall unbemerkt bleibt, der in einer wenig bewohnten Gegend, in wildem Hochgebirge, in ausgedehnten Wald-, Heide- und Sumpfstrecken oder während stürmischer Nächte vor sich geht, so wird man zur Annahme gelangen, daß die Zahl der jährlich auf der ganzen Erde ankommenden Aerolithen keine so unbedeutende sein kann. Der Teil der Erde, welchen wir bewohnen, bildet nur etwa 16/1000 ihrer ganzen Oberfläche; in Europa selbst, kann man annehmen, entgehen mindestens zwei Drittel aller Meteoritenfälle der Beobachtung, und auf Grund dieser Schätzungen gelangt man zu dem Resultate, daß auf der ganzen Erde in einem Jahre mindestens 600—700 Steinfälle stattfinden.

Ungeheuer ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteore in unsre Erdatmosphäre eintreten und dieselbe durchschneiden. Vielmal schneller als der Schall, als die Kugel, welche aus dem Rohre der Kanone fliegt, in vielen Fällen sogar erheblich rascher als die Bewegung der um die Sonne kreisenden Planeten[1] durcheilen sie den Raum, Entfernungen von mehreren Meilen in einer Sekunde zurücklegend. Aber bald erlahmt in der Nähe der Erde dieser Flug; der Widerstand der Luft stellt sich dem Aerolithen entgegen, bis der Antrieb, mit welchem der Stein aus dem Weltraume ankam, verschwunden ist und er, nur noch der Anziehungskraft der Erde folgend, nach dem Gesetze der Schwere mit nicht sehr großer Beschleunigung niederstürzt. Die mechanische Wirkung des Falles auf den Boden ist infolgedessen keine sehr beträchtliche; nur einige sehr schwere Massen wühlen sich wenige Fuß tief in die Erde, meist dringen sie bloß ganz wenig ein, ja, bei dem Steinregen von Pultusk, welcher nur ziemlich kleine Trümmer lieferte, waren diese nicht im stande, die gefrorne Erdschicht, sogar nicht einmal das Eis des Flusses Narew zu durchschlagen.

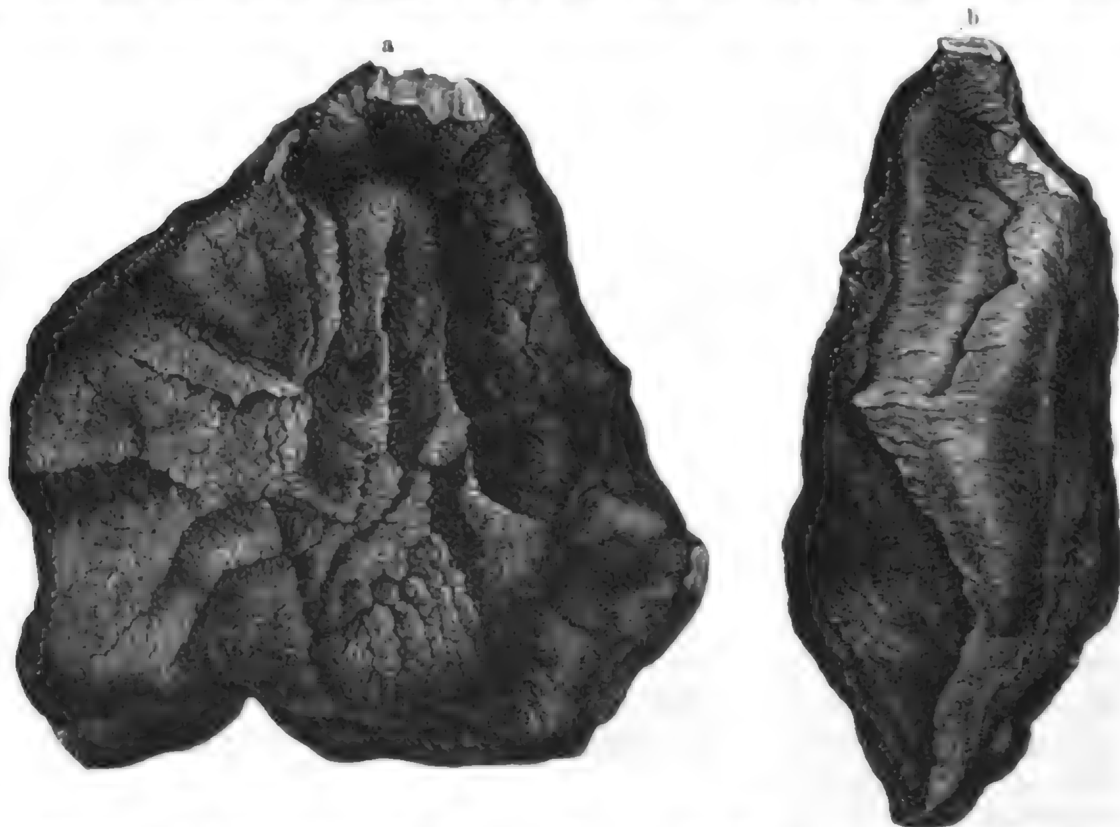
Die riesige Schnelligkeit des Meteores, welche meist innerhalb weniger Sekunden durch den Widerstand der Luft aufgehoben wird, gibt uns den Schlüssel für die Erklärung der verschiedensten Erscheinungen. Bei der Hemmung der kosmischen Geschwindigkeit durch die Atmosphäre wird eine große Menge lebendiger Kraft vernichtet, die dabei zum Teile unmittelbar in Wärme umgewandelt wird; eine gewisse Erwärmung der Masse wird auf diese Weise jedenfalls eintreten. Vor allem aber drückt der Aerolith in seinem blitzschnellen Fluge die Luft vor sich her in außerordentlich hohem Grade zusammen und läßt hinter sich für einen Augenblick einen sehr stark luftverdünnten, fast luftleeren Raum; durch die gewaltige Kompression wird die Luft vor dem Meteoriten zu einem Grade wie in unsern Schmelzöfen erhitzt, und indem sie nach dem fast leeren Raume hinter dem Steine abfließt, umgibt sie diesen mit einer Glutatmosphäre, in welcher er äußerlich zu schmelzen

---

[1] Der Meteorit von Pultusk legte in der Atmosphäre, die doch durch ihren Widerstand seine Geschwindigkeit verzögern mußte, etwa 7,25 Meilen in der Sekunde zurück, während Merkur, der schnellste unter den Planeten, in derselben Zeit sich nur 6,11 Meilen fortbewegt.

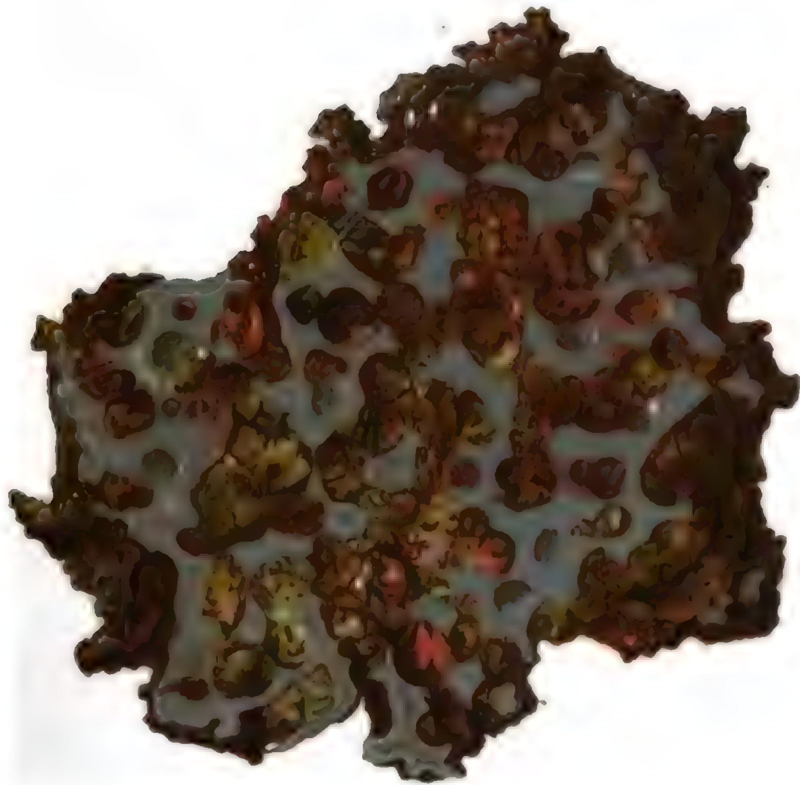
und zu leuchten beginnt. Ist der Lauf beendet, so kühlt sich die glühende Luft momentan ab, Luftsäulen stürzen in den leeren Raum, der sich gebildet hat, und geben Anlaß zu der Hauptdetonation, der dann das Sausen des niederfallenden Steines folgt, vereinigt mit dem Schalle, welchen das Meteor auf frühern Teilen seiner Bahn hervorgerufen hat, und der infolge der rasenden Schnelligkeit des Aerolithen erst nach diesem ankommt, aus derselben Ursache, aus welcher wir bei einem entfernten Gewitter den Donner erst längere Zeit später hören, nachdem wir den Blitz gesehen haben; endlich erreicht der Fremdling aus den fernen Himmelsräumen den irdischen Boden.

Betrachten wir den merkwürdigen Ankömmling näher, so finden wir, daß seine Oberfläche mit einer schwarzen, glasigen Schmelzkruste von sehr geringer Dicke überzogen



Ein Meteorit vom Steinregen bei Stannern. Ein „ganzer" Stein mit ausgezeichneten Schmelzwülsten.
a Ansicht der Brust — b Ansicht einer Seite.

ist. Deutlich kann man oft an der strahligen Bildung dieser Rinde und an der Art und Weise, wie dieselbe bisweilen zu sogenannten Schmelzwülsten angeordnet ist, erkennen, wie der geschmolzene Teil vom stürmischen Luftzuge nach rückwärts geblasen wurde, und kann daraus die Brust, d. h. diejenige Seite des Meteoriten, welche beim Fluge nach vorn gerichtet war, bestimmen. Insbesondere ist dies der Fall bei einem Meteoriten von Stannern in Mähren, welcher als eine „Leitform" klassisch geworden ist; das Exemplar wird im Hofmineralienkabinette zu Wien aufbewahrt und findet sich auf den beistehenden vier verschiedenen Ansichten (vgl. oben und S. 105) in natürlicher Größe abgebildet. Daß die Schmelzkruste eine dünne ist und sein muß, ist sehr begreiflich, denn wenn auch größere Mengen der Substanz durch die Hitze flüssig werden, so können sie doch nicht an dem Steine bleiben, sondern werden, von dem gewaltigen Luftstrome zerstäubt, zurückbleiben und so den leuchtenden Schweif des Meteores bilden helfen. Wo Sprünge in dem Steine vorhanden sind, wird die geschmolzene Masse in diese hineingepreßt, so daß man oft, wie z. B. an dem auf der beigehefteten Tafel „Meteoriten" abgebildeten Meteoriten von Kakova, mitten im Innern der Masse Adern der schwarzen Glassubstanz findet.

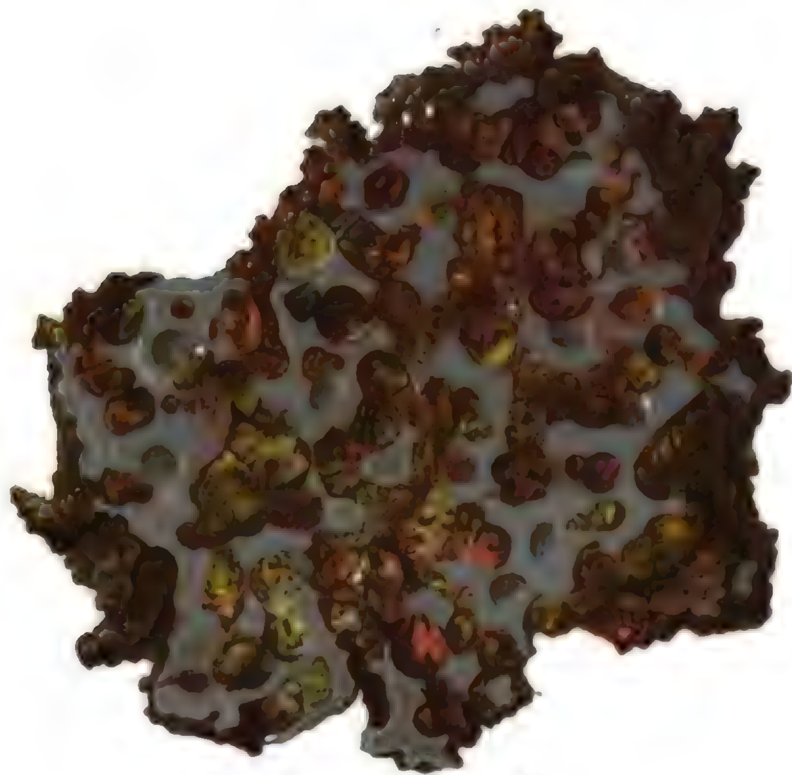


Meteorit von Krassnojarsk (Pallaseisen).

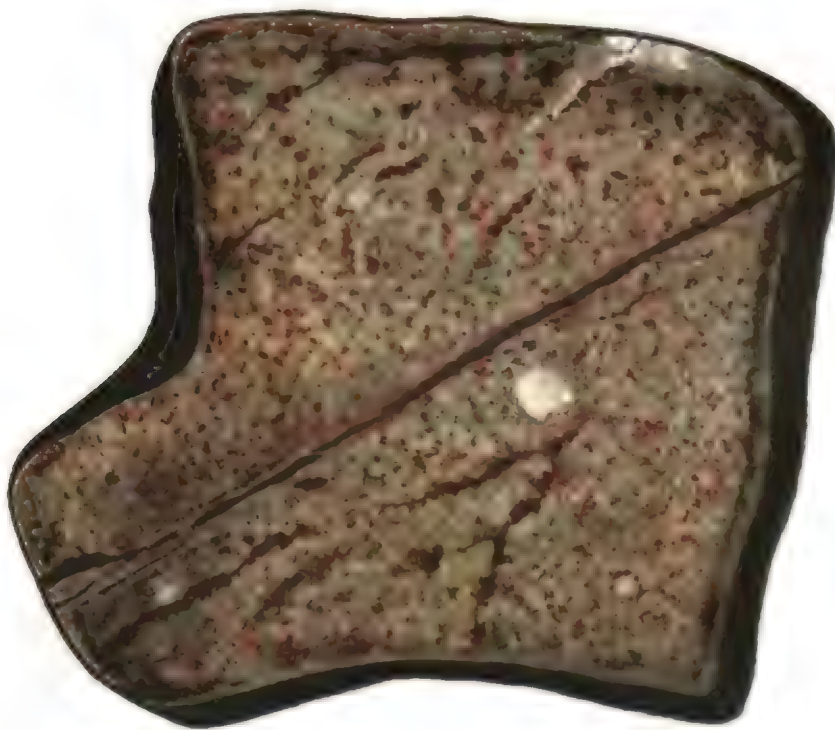


Meteorit von Kakova

METEORITEN.



Meteorit von Krassnojarsk (Pallaseisen).



Meteorit von Kakova

METEORITEN.

Eine andre Eigentümlichkeit, die bei sehr vielen Aerolithen auftritt, ist die, daß ihre Oberfläche zahlreiche Vertiefungen, „Näpfchen", zeigt, die oft Fingereindrücken gleichen und bald größer, bald kleiner sind; Daubrée in Paris hat durch zahlreiche Experimente gezeigt, daß ganz übereinstimmende Gruben durch Einwirkung komprimierter Gase auf feste Körper bei Explosionen von Dynamit, Schießpulver, Schießbaumwolle &c. entstehen, und so darf man wohl annehmen, daß auch bei den Meteoriten die zusammengepreßte glühende Luft Stücke herausgesprengt hat, die, zu Staub zertrümmert, ebenfalls im Schweife zurückgeblieben sind.

Die Zahl der Steine, welche zugleich auf einem beschränkten Raume niederfallen, ist eine sehr verschiedene; sehr oft findet man deren nur einen, oft aber mehrere, mitunter sogar sehr viele. Der Steinregen von Stannern in Mähren ergab einige Hundert, der von L'Aigle in der Normandie etwa 3000 Stücke, welche über einen ovalen Raum von



Ein Meteorit vom Steinregen bei Stannern. Dasselbe Exemplar wie auf S. 104. a Ansicht des Rückens — b Ansicht einer zweiten Seite. Vgl. Text, S. 104.

12 km Längendurchmesser verstreut waren; der Fall von Knyahinya in Ungarn im Jahre 1866 blieb hinter dem von L'Aigle nur wenig zurück, während derjenige von Pultusk in Polen vom 30. Januar 1868 alle andern, die wir näher kennen, übertrifft.

Es drängt sich nun die Frage auf, in welchem Zustande diese zahlreichen Stücke zu uns kommen, ob sie nur eine Masse bildeten, die in der Atmosphäre zersprang, oder ob sie schon als Meteorschwarm in unsre Atmosphäre gelangten. Liegen Stücke vor, die nicht allseitig überrindet sind, sondern frische Bruchflächen zeigen, so kann man mit Sicherheit annehmen, daß sie bei der Hauptdetonation oder während des Niederstürzens und Auffallens zertrümmert worden seien; anders verhält es sich dagegen bei den „ganzen" Steinen, d. h. bei denjenigen, welche rings ihre schwarze Kruste zeigen. Diese müssen vor der Hauptdetonation schon selbständig gewesen sein, da mit dieser die Wärmeentwickelung aufhört, so daß frische Bruchflächen ohne glasigen Überzug zu sehen sein müßten, wenn die Zerteilung erst bei dieser Gelegenheit erfolgt wäre. Daß übrigens die Hauptdetonation nicht von dem Zerspringen eines großen Meteoriten in viele kleine herrührt, geht schon daraus hervor, daß dieselbe gewaltige Schallerscheinung auch eintritt, wenn nur ein Stück niederfällt.

Selbst bei den großen Steinregen kommen meist „ganze“ Exemplare herab; so werden im Pariser Museum für Naturwissenschaften allein 950 ganze Steine von dem einen Falle von Pultusk vom 30. Januar 1868 aufbewahrt. Die Bildung so zahlreicher gut abgerundeter Fragmente durch Zersprengung einer einzigen Masse während des Zeitraumes weniger Sekunden, die sie in der Atmosphäre zubringt, ist ein Ding der Unmöglichkeit; man sieht sich daher zu der Annahme gezwungen, daß ganze Schwärme von Körpern eng gedrängt sich im Weltraume bewegen. Man kennt zwar Fälle von Zersprengung eines Meteores während der Zeit, in welcher es mit kosmischer Geschwindigkeit durch die Luft stürmt, in welchen jedes Bruchstück vollständig glasig überrindet ist; so fand man bei Quenggouk in Indien zwei genau zusammenpassende Fragmente in einer Entfernung von etwa 1 englischen Meile voneinander, welche an den Bruchflächen leicht überrindet waren. Bei dem Falle von Butsura in Ostindien vom 12. Mai 1861 fand man drei Stücke, die in gegenseitigen Entfernungen von 2 englischen Meilen lagen und vollkommen zusammenpaßten (vgl. Abbildung, S. 107); doch gehören diese Fälle zu den Ausnahmen, und keinesfalls kann man Steinregen wie die oben genannten auf derartige Vorgänge zurückführen. Für die Erklärung solcher Steinregen reicht nur die Annahme von Meteoritenschwärmen aus. Allerdings scheint dieser Auffassung ein ziemlich handgreiflicher Einwurf gegenüberzustehen: das Meteor tritt als eine geschlossene Feuerkugel auf, wie sollte dasselbe aus einigen Hundert oder Tausend kleiner Bruchstücke bestehen? Jedoch werden diese Zweifel durch eine höchst wichtige Beobachtung des berühmten Vorstandes der Sternwarte in Athen, Julius Schmidt, zerstreut, des ersten Astronomen, dem es gelungen ist, eine Feuerkugel ersten Ranges durch ein Teleskop zu beobachten. Wenn man bedenkt, wie spärlich solche Erscheinungen auftreten, wie kurz sie dauern, und mit welcher Blitzeseile sie in der Regel vorüberziehen, so wird es begreiflich, daß sie überaus selten zur Beobachtung gelangen. Das Meteor erwies sich, durch das Fernrohr betrachtet, als aus zahlreichen Teilen zusammengesetzt; es bestand aus zwei strahlend grünen Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche lange feuerrote Schweiflinien zurückließen; hinter ihnen folgte ein Schwarm grün strahlender Fragmente von sehr verschiedener Größe, deren jedes eine rote Feuerlinie mit sich führte. Besonders wird hervorgehoben, daß der wirkliche Durchmesser der Erscheinung ein sehr viel kleinerer war, als er dem freien Auge erschien, eine Thatsache, welche von großer Wichtigkeit ist, da sie zeigt, daß der oft hervorgehobene Kontrast zwischen den großen Dimensionen der Meteore und der geringen Masse der niederfallenden Steine lediglich auf einer durch das blendende Licht der erstern erregten Sinnestäuschung beruht. Das bedeutendste Resultat ist aber jedenfalls der sichere Nachweis, daß eine größere Anzahl meteorischer Körper in geschlossenem Schwarme und mit parallelen Bahnen die Atmosphäre durchzieht und dabei dem unbewaffneten Auge als eine einzige Feuerkugel erscheinen kann, wie dies namentlich von Haidinger schon längst angenommen worden war.

Die Größe und Masse der Steine, welche auf die Erde niederfallen, ist in der Regel keine bedeutende; der Eisenblock von Santa Catharina in Brasilien wog allerdings 2250 kg, eine zweite in Brasilien gefundene Masse wurde auf 7000 kg geschätzt, wiewohl ihre Größe noch nicht 1 cbm erreichte, aber unter den nichtmetallischen Aerolithen kennt man nur einzelne von 200—300 kg, selten überschreiten sie 50 kg, und bei den meisten bleibt das Gewicht bedeutend unter diesen Grenzen. Sehr kleine „ganze“ Steine kennt man ebenfalls verhältnismäßig wenige, doch liegt der Grund hierfür wohl lediglich in der großen Schwierigkeit, dieselben zu finden. Bei dem Falle von Heßle bei Upsala in Schweden, welcher am 1. Januar 1869 stattfand, erleichterte eine Schneedecke die Aufsuchung, und infolgedessen gelang es hier, viele solcher kosmischen Körper bis zu winzigen Dimensionen nachzuweisen; der kleinste, welcher in Stockholm aufbewahrt wird, hat ein Gewicht von 0,06 g.

Solche Vorkommnisse bilden den Übergang zu förmlichem Meteorstaube, dessen Ankunft ebenfalls in manchen Fällen nachgewiesen wurde. So fand man in Schweden auf der winterlichen Schneedecke schwarzen Staub, der sich als aus Eisenpartikelchen bestehend erwies und als meteorisch gedeutet wird. Ja, in den größten Tiefen des Meeres, weitab vom Festlande, wo sich nur überaus geringe Mengen von Absatz aus dem Wasser niederschlagen, enthält dieses Sediment viel Eisen mit deutlichen Spuren von Nickel, wodurch es wahrscheinlich wird, daß diese Ablagerungen zu nicht unbeträchtlichem Teile aus Meteorstaube bestehen.

Die Meteoriten „fallen vom Himmel"; aber woher kommen sie, welches ist ihr Ursprung? Diese Fragmente, von welchem Himmelskörper stammen sie, aus welchen Regionen des Weltraumes gelangen sie zu uns? Diese ebenso wichtigen wie schwierigen Fragen sind vielfach besprochen und erwogen worden, sehr verschiedene Ansichten sind über diesen Gegenstand geäußert worden, und wenn wir auch heute eine dieser Hypothesen als in hohem Grade wahrscheinlich bezeichnen können, so ist doch die Sache noch nicht vollständig entschieden.

Ursprünglich dachte man daran, daß die Meteoriten nur „verdichtete Dünste" des Erdballes seien; später betrachtete man sie als Auswürflinge von Vulkanen im Monde, eine Auffassung, die auch heute noch Vertreter findet, der aber die große Zahl der jährlich auf die Erde gelangenden Steine, ferner die Richtung und ungeheure Anfangsgeschwindigkeit vieler ein unüberwindliches Hindernis entgegensetzen. Die große Schnelligkeit der Bewegung spricht auch gegen die Annahme, daß man es mit Splittern eines zertrümmerten kleinen Mondes zu thun habe, der in früher Vorzeit die Erde umkreiste, und dasselbe gilt von der Hypothese, daß es winzig kleine selbständige Planeten seien. Diejenige Anschauung, welche entschieden die größte Wahrscheinlichkeit für sich hat und die meisten Anhänger zählt, bringt die Meteorsteine in Verbindung mit den Sternschnuppen und Kometen. Nachdem ein Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen schon seit längerer Zeit von verschiedenen Forschern vermutet worden war, hat Schiaparelli durch seine scharfsinnigen Untersuchungen wichtige Gründe und Beweise für die Existenz eines solchen Zusammenhanges



Der Meteorit von Butsura. Vgl. Text, S. 106.

beigebracht; seine Lehre wurde dann durch E. Weiß in manchen Punkten abgeändert und bildet jedenfalls die beste Erklärung der Erscheinungen, die bisher gegeben worden ist.

Das schöne Phänomen der Sternschnuppen ist allgemein bekannt; in jeder heitern Nacht sieht man von Zeit zu Zeit, mehrmals in einer Stunde, wie ein Stern aus der Zahl der übrigen hervorzubrechen scheint und mit großer Schnelligkeit am Himmel dahinschießt, um nach wenigen Augenblicken wieder zu verschwinden. Man weiß jetzt mit Bestimmtheit, daß die Sternschnuppen wie die Meteoriten feste Körper sind, die mit kosmischer Geschwindigkeit aus dem Weltraume in die Erdatmosphäre eindringen und hier zu leuchten beginnen; die Höhe, in welcher sie erscheinen und wieder erlöschen, ist sehr wechselnd, doch kann man dieselbe für ihr Aufleuchten durchschnittlich mit 15, für das Verschwinden mit 11 Meilen über der Erdoberfläche annehmen. Auch hier ist die Lichterscheinung von der durch die kosmische Geschwindigkeit des fliegenden Körpers erhitzten und komprimierten Luft veranlaßt; der Grund des Erlöschens kann nur darin gesucht werden, daß der Körper durch die glühende Temperatur, vielleicht auch durch einen Verbrennungsprozeß zerstäubt oder verzehrt wird oder die Atmosphäre der Erde wieder verläßt.

In den meisten Nächten fallen die Sternschnuppen einzeln, ohne bestimmte Richtung und in längern Zwischenräumen, in andern dagegen zeichnen sie sich durch bedeutende, mitunter sogar außerordentlich große Häufigkeit aus. Im Jahre 1799 beobachtete A. v. Humboldt in den Morgenstunden des 12. November zu Cumana in Venezuela von 2½ Uhr an Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen am östlichen Himmel, welche alle in einer gleichmäßigen Richtung von Norden nach Süden zogen; er zeigte später, daß dieser Sternschnuppenregen in ganz Amerika vom Äquator bis Grönland und bis nach Deutschland beobachtet worden sei, so daß das Erscheinungsfeld dieses Phänomens etwa 1 Million Quadratmeilen umfaßte. Später erregte das Studium der Sternschnuppen, welches von den Astronomen anfangs stark vernachlässigt worden war, allgemeineres Interesse, und bald fand man, daß bestimmte Perioden des Jahres, gewisse Nächte durch bald stärkere, bald schwächere Meteorschauer ausgezeichnet seien. Man suchte nun Nachrichten über solche Vorkommnisse in alten Aufzeichnungen und Chroniken und gelangte zu dem interessanten Resultate, daß einzelne Sternschnuppenschwärme seit drittehalbtausend Jahren fast genau dieselben Tage einhalten; z. B.:

Vor	Christo	im Jahre	687	am	19.	April,		Nach	Christo	im Jahre	1095	am	20.	April,
„	„	„	15	„	19.	„		„	„	„	1096	„	21.	„
Nach	„	„	582	„	18.	„		„	„	„	1122	„	20.	„
„	„	„	1093	„	20.	„		„	„	„	1123	„	20.	„
„	„	„	1094	„	20.	„		„	„	„	1803	„	19.	„

Weitaus am reichsten ist in der nördlichen Hemisphäre der Schwarm vom 13. zum 14. November, ferner der „Strom des heiligen Laurentius“, dessen feurige Thränen nach altem Volksglauben in der Nacht des 10. August niederfallen. Im ganzen Verlaufe des Jahres zeichnen sich für die nördliche Halbkugel die folgenden Tage durch größere Meteorschwärme aus, während spärlichere Ströme noch außerdem in sehr bedeutender Anzahl auftreten:

1) 2.— 3. Januar,	4) 26.—29. Juli,	7) 13.—14. November,
2) 12.—13. April,	5) 9.—13. August (Laurentiusstrom),	8) 27.—29. November,
3) 19.—23. April,	6) 19.—25. Oktober,	9) 6.—13. Dezember.

Die Betrachtung eines dieser schönen Phänomene ergibt das wichtige Resultat, daß die Bahnen der einzelnen Sternschnuppen eines Schwarmes sich nicht regellos kreuzen, sondern daß sie nach rückwärts verlängert auf einen bestimmten Punkt des Himmels, den Radiationspunkt oder Radianten, hinziehen oder von demselben ausgehen, der weder

im Verlaufe der Nacht noch von einem Jahre zum andern sich ändert. So weisen die Meteore des Laurentiusstromes auf einen Punkt, der sich in der Nähe des Sternes γ im Sternbilde des Perseus befindet, der Schwarm vom 13. November hat seinen Radiationspunkt zwischen den Sternen γ und μ im Löwen, weshalb man dieselben auch die Ströme der Perseiden und der Leoniden genannt hat. Ein Radiationspunkt kann nur dadurch entstehen, daß ein Schwarm von Meteoren in parallelen Bahnen an uns vorüberzieht; nach den Regeln der Perspektive ergibt sich daraus die Lage des Punktes, von welchem die Gruppe kommt, gerade so, wie etwa mehrere Reihen paralleler Bäume an einer sehr langen, geraden Landstraße sämtlich von einem und demselben Punkte auszugehen scheinen.

Die einzige Möglichkeit für die Erklärung der Verhältnisse, wie wir sie hier kennen gelernt haben, ist die, daß die in einer jeden solchen Nacht sichtbar werdenden Meteore zu einem Schwarme gehören, welcher, aus einer ungeheuern Anzahl kleiner Körper bestehend, die Sonne in gemeinsamer Bahn umkreist; letztere schneidet die Erdbahn in einem Punkte, den die Erde am Tage des Sternschnuppenschauers passiert, und bei seinem Durchgange durch den Meteorstrom reißt dann unser Planet vermöge seiner Schwere einen Teil jener kleinen Körper zu sich hernieder.

Wie schon erwähnt, sind die beiden Ströme der Perseiden (9.—13. August) und der Leoniden (13.—14. November) bei weitem die reichsten, welche die Erde kreuzt. Aber nicht in jedem Jahre ist der Glanz der Erscheinung derselbe; die Perseiden zeigen sich alle 108 Jahre in einem Maximum des Glanzes, das jedoch nicht vorübergehend ist, sondern 20—30 Jahre anhält. Noch auffallender sind die Wechsel der Leoniden. Wir haben schon die Schilderung erwähnt, welche Humboldt von dem zu Cumana beobachteten Falle gibt; weiter sahen in der Nacht vom 12. zum 13. November 1833 Olmsted und Palmer zu Newhaven in Nordamerika, wie Feuerkugeln raketenartig von einem einzigen Punkte des Himmels ausgingen und zwar in so großer Zahl, daß sie dicht wie Schneeflocken fielen und der Himmel fast ganz in Feuer zu stehen schien; es wurde berechnet, daß dort in neun Stunden, welche die Erscheinung anhielt, mehr als eine Viertelmillion Meteore gefallen sein müssen. Allein bei weitem nicht in jedem Jahre zeigt sich so reiche Entwickelung; nach den gesammelten Berichten kehrt dieses Maximum in einer Periode von 33¼ Jahren, also dreimal in einem Jahrhundert, wieder. Durch genaues Studium aller Daten konnte der abermalige Eintritt für die Nacht vom 13. zum 14. November 1866 vorausgesagt werden, und wirklich zeigte sich zur berechneten Zeit der Sternschnuppenschwarm in kaum geahnter Schönheit. Aus einer solchen periodischen Wiederkehr der höchsten Entfaltung konnte geschlossen werden, daß die kosmischen Körper, die einen derartigen Schwarm bilden, nicht längs der ganzen Bahn desselben gleichmäßig verteilt, sondern an einer Stelle besonders dicht gedrängt sind, und aus der regelmäßigen Wiederkehr dieses Maximums konnte auch die Zeit bestimmt werden, welche der Schwarm nötig hat, um seine Bahn zu durchlaufen. Für die Leoniden wurde diese Zeit auf 33,25 Jahre festgestellt. Da man die Umlaufszeit, die Richtung und durch gewisse Kombinationen, die wir nicht eingehend besprechen können, die Geschwindigkeit der Meteore, endlich den einen Brennpunkt der Bahn, die Sonne, kennt, so war damit die Möglichkeit, die Bahnen von Meteoriten zu berechnen, vorhanden, und es ergab sich, daß diese Kurven mit solchen, welche die periodischen Kometen in ihrem Laufe verfolgen, die größte Verwandtschaft besitzen.

Ein gewaltiger Fortschritt in dieser Richtung war es, als Schiaparelli zeigte, daß die Bahn der Perseiden mit derjenigen des dritten Kometen von 1863 zusammenfällt, während für die Leoniden nachgewiesen wurde, daß der erste Komet des Jahres 1866 in demselben Verhältnisse zu ihnen steht. Ebenso hängt der erste Komet von 1861 mit dem Schwarme vom 20. April, der Bielasche Komet mit dem Schwarme vom 27.—29. November zusammen;

man kann geradezu sagen, daß die genannten Kometen Bestandteile der betreffenden Schwärme sind, und noch für eine Anzahl andrer Meteorströme ist es gelungen, sie mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit auf die Bahnen bekannter Kometen zurückzuführen.

Es kann nicht unsre Absicht sein, hier die astronomische Seite der Frage eingehend zu besprechen; es mag genügen, die nachgewiesene Möglichkeit hervorzuheben, daß ein Komet durch die Einwirkung der Sonne oder eines Planeten, welchem er sich stark nähert, zerfalle oder ganz oder teilweise aufgelöst werde[1]. Die einzelnen Teile oder Fragmente müssen sich nach den Gesetzen der Mechanik längs der Bahn des Kometen verteilen und dieselbe weiter verfolgen und so längs dieser den Meteorring bilden, aus welchem die Sternschnuppenschwärme herrühren. Der Zusammenhang zwischen beiderlei Erscheinungen ist ein so inniger, daß, wie E. Weiß es aussprach, nicht nur jeder periodische Komet die Bildung eines Meteorschwarmes veranlassen, sondern auch jeder periodisch wiederkehrende Sternschnuppenfall überhaupt der Kreuzung der Erdbahn mit derjenigen eines periodischen Kometen seinen Ursprung verdanken muß.

Sind wir nun berechtigt, wie oben angedeutet wurde, auch die auf die Erde niederfallenden Meteorsteine mit den Sternschnuppen zu identifizieren und sie somit als Bruchstücke von Kometen zu betrachten? Beide sind feste Körper, die mit ungeheurer Geschwindigkeit in unsre Atmosphäre eindringen; beide komprimieren die Luft auf ihrem Wege vor sich her außerordentlich stark, wodurch heftige Erhitzung, Glühen und Aufleuchten hervorgebracht werden. Allerdings herrscht ein bedeutender Kontrast zwischen dem kleinen Sterne, der lautlos am Himmel hinzieht und verschwindet, und der gewaltigen Feuerkugel, die brausend und rollend herankommt und nach gewaltiger Detonation den Steinregen niedersendet; allein diese beiden Erscheinungen bilden nur die beiden Extreme einer Reihe von Phänomenen, zwischen denen alle Übergänge vorkommen. Sehr kleine oder sehr rasch in der Atmosphäre sich bewegende Körper werden verzehrt, ehe sie die Erde erreichen, und auch das Geräusch der Detonation dringt aus jenen hohen Regionen nicht bis zur Erdoberfläche herab. Diese Erwägungen berechtigen wohl, dem Auftreten von Meteoriten und Sternschnuppen dieselbe Ursache zuzuschreiben, und eine Bestätigung dieser Auffassung erhält man dadurch, daß es in einzelnen Fällen gelungen ist, Aerolithen mit Wahrscheinlichkeit auf Radiationspunkte bekannter Sternschnuppenschwärme zurückzuführen. Wenn trotzdem weder zur Zeit der Leoniden noch der Perseiden nach den Verzeichnissen mehr Aerolithen auf die Erdoberfläche gelangen als zu andern Zeiten, so erscheint dies zwar als ein Widerspruch, doch ergibt genauere Erwägung, daß derselbe keinerlei Bedeutung hat.

Die Astronomen nehmen an, daß die Atmosphäre der Erde täglich von 10—12 Millionen Sternschnuppen gekreuzt wird, während die Zahl der in einem Tage niederfallenden Meteorsteine auf 2—3 geschätzt wird; es geht daraus hervor, daß von allen den festen Körpern, welche in die Atmosphäre eintreten, nur ein ganz verschwindend kleiner Teil bis zur Erde gelangt, die ungeheure Mehrzahl dagegen auf ihrem Wege durch die Atmosphäre zerstört wird. Daher werden die Verhältnisse, unter welchen ein Meteorstrom in die Atmosphäre gelangt, von größerer Wichtigkeit für die Erhaltung der einzelnen Körper sein als die Zahl dieser. Die Zerstörung der Meteore ist eine Wirkung der Schnelligkeit, mit der sich dieselben durch die Atmosphäre bewegen, und namentlich der durch die Schnelligkeit erzeugten Hitze; je rascher also die Körper eines Schwarmes die Luft durchschneiden, um so mehr werden sie der Vernichtung ausgesetzt sein, ohne die Erdoberfläche zu erreichen. Die Geschwindigkeit nun, mit welcher ein Meteor die Luft durchschneidet, hängt nicht nur

[1] Das Zerfallen eines Kometen in zwei oder mehrere ist eine mehrfach konstatierte Thatsache; das bekannteste Beispiel bietet der Bielasche Komet, der im Januar 1846 sich in zwei teilte.

von seiner eignen Beschleunigung, sondern ganz wesentlich auch von der Richtung ab, aus der es auf die Erde trifft. Kommt das Meteor aus derjenigen Richtung, nach welcher die Erde sich gerade in ihrer Bahn bewegt, so wird die Sternschnuppe die Atmosphäre, die sich ja mit der Erde fortbewegt, mit einer Geschwindigkeit durchschneiden, welche derjenigen der Erde (fast 4 Meilen in der Sekunde) plus derjenigen des Meteores gleichkommt; im entgegengesetzten Falle, wenn die Sternschnuppe aus jener Region kommt, aus welcher die Erde sich fortbewegt, wenn sie mit andern Worten die Erde einholen muß, bringt sie verhältnismäßig viel langsamer in die Atmosphäre ein, ihre Geschwindigkeit in dieser ist dann gleich der ursprünglichen Beschleunigung des Meteores minus derjenigen der Erde.

Es geht daraus hervor, daß für Schwärme, welche der Erde gerade entgegenkommen oder die Richtung der letztern unter einem sehr spitzen Winkel schneiden, verhältnismäßig wenig Aussicht auf die Erhaltung der Meteore und somit auf den Fall von Steinen vorhanden ist; gerade die Leoniden und Perseiden befinden sich in diesem Falle, woraus wir uns wohl erklären können, warum die Zeit vom 9.—13. August und vom 13. zum 14. November nicht durch häufigere Aerolithenfälle ausgezeichnet ist. Dagegen bietet uns der Strom, welchem die Erde zu Anfang Dezember begegnet, ein Beispiel für das Auftreten von Verhältnissen, welche der Erhaltung der Meteore sehr günstig sind, d. h. er trifft die Richtung der Erde unter einem ziemlich stumpfen Winkel; und thatsächlich lehrt ein Vergleich mit den Katalogen der Meteorsteinfälle, daß diese zu Anfang Dezember ein Maximum aufweisen. Ein derartiger statistischer Vergleich spricht daher weit eher für als gegen die Zusammengehörigkeit von Sternschnuppen und Aerolithen.

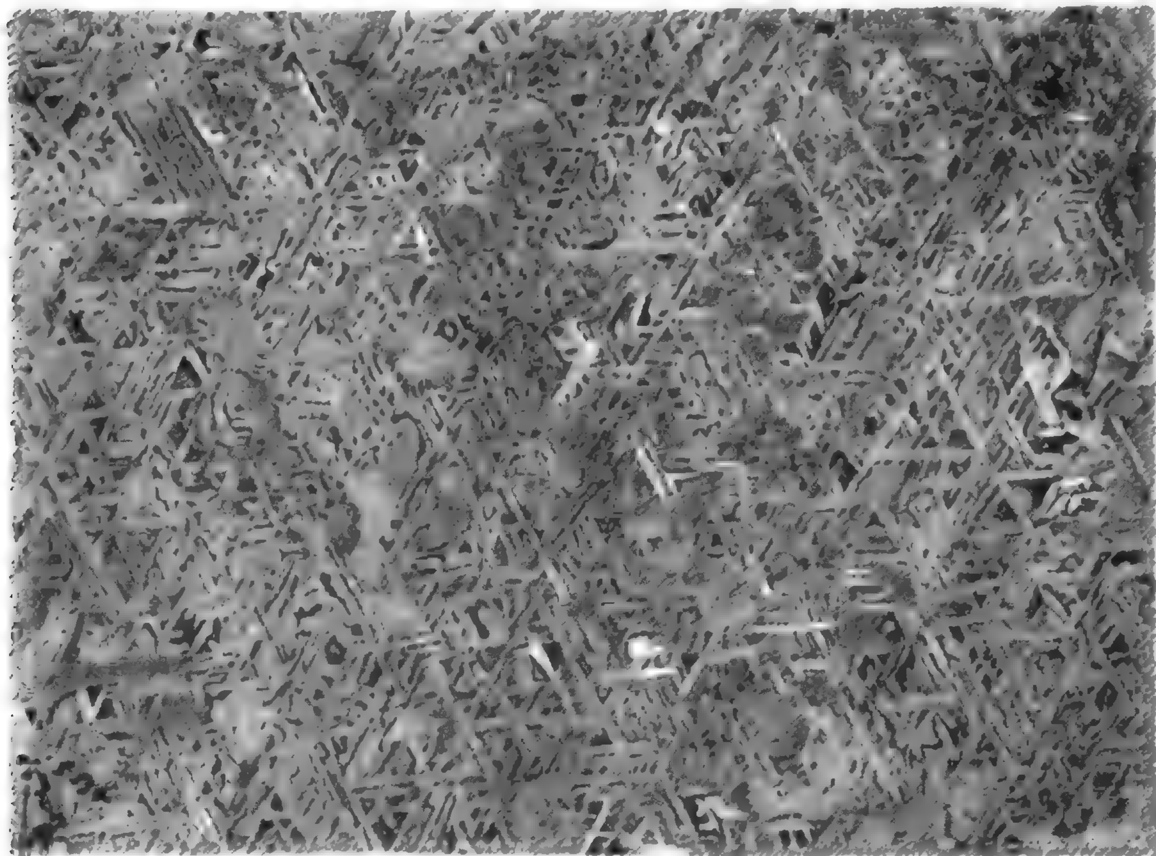
Zusammensetzung der Meteoriten.

Wir haben nun die chemische Zusammensetzung der Meteoriten ins Auge zu fassen. Zahlreiche Forscher haben Analysen solcher Steine gemacht, und ihren Studien verdanken wir das merkwürdige und bedeutungsvolle Resultat, daß diese Fremdlinge aus fernen Regionen des Weltraumes nicht einen einzigen Grundstoff enthalten, welcher sich nicht auch auf der Erde findet. Bis jetzt sind die folgenden Elemente in Aerolithen mit Sicherheit nachgewiesen worden:

Wasserstoff	Chlor	Silicium	Aluminium	Chrom	Kupfer
Sauerstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium	Kobalt	Zinn
Stickstoff	Arsen	Natrium	Mangan	Nickel	Titan.
Schwefel	Kohlenstoff	Calcium	Eisen		

Zwar ist das nicht ganz ein Drittel der bekannten irdischen Elemente, doch ist es durchaus nicht zu verwundern, daß die Zahl noch nicht größer ist, da die Masse der Meteoriten verhältnismäßig klein ist; ohne Zweifel werden sich mit der Zahl der zu untersuchenden Steine auch die Stoffe ihrer Zusammensetzung mehren. Eisen, Magnesium und Silicium gehören zu den verbreitetsten Elementen auf der Erde, an deren Aufbaue sie einen sehr wesentlichen Anteil nehmen. Ebenso verhält es sich in den Meteoriten; dagegen sind hier Calcium, Kalium, Natrium, Aluminium weit schwächer vertreten als auf der Erde, die edlen Metalle fehlen bis jetzt ganz, während Nickel eine viel größere Rolle spielt als in der Zusammensetzung der irdischen Gesteine. Wenn aber auch derartige Abweichungen in Einzelheiten sich zeigen, so liefern uns doch im ganzen die Meteoriten einen überraschenden und vollgültigen Beleg für die aus der Spektralanalyse abgeleitete Lehre von der Einheit der Materie auf verschiedenen Himmelskörpern. Was die Betrachtung des Lichtes

von Sonne, Fixsternen und Nebelflecken durch das Prisma ergeben hat, sehen wir glänzend und geradezu handgreiflich bestätigt durch die Untersuchung der Kometentrümmer. Wir können aber in unserm Falle noch viel weiter gehen; wir können untersuchen, in welcher Weise die Elemente zu einfachen Verbindungen, zu Mineralien, sich gruppieren, und wie diese Mineralien ihrerseits zu felsbildenden Massen, zu Gesteinen, sich anordnen. Diese Studien, um die sich namentlich der berühmte Mineralog Gustav Rose große Verdienste erworben hat, ergeben, daß ein großer Teil der meteorischen Mineralien mit derselben Kristallform und derselben chemischen Zusammensetzung auch auf der Erde vorkommt, so Olivin, Augit, Enstatit, Anorthit, Tridymit, Quarz, Chromeisenstein, Magnetkies, Magnetit,



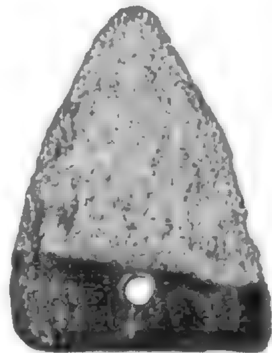
Widmanstättensche Figuren im Meteoreisen. Vgl. Text, S. 113.

Graphit, während andre auf unserm Planeten noch nicht gefunden sind; zu den letztern gehören das Nickeleisen, das Schwefelcalcium, Eisenchlorür (Lawrencit), ferner gewisse Verbindungen von Phosphor mit Eisen und Nickel (Schreibersit) und von Schwefel mit Eisen und Chrom (Daubréelith).

Noch wichtiger ist für uns die Art, wie diese Mineralien sich in den Meteoriten zu Gesteinen gruppieren; eine selbst oberflächliche Betrachtung ergibt, daß zwei heterogene Typen unterschieden werden können, die Meteoreisen und Meteorsteine. Die erstern bestehen aus gediegenem Eisen mit einem ziemlich erheblichen Gehalte von Nickel, ferner von etwas Phosphor, Schwefel und oft auch Kohle. Einzelne zeigen ein durch das ganze Stück sich gleichbleibendes Gefüge, so daß die ganze Masse ein Fragment eines einzigen Kristallindividuums zu sein scheint; in der Regel jedoch besteht das Meteoreisen aus dünnen, nebeneinander gelagerten Lamellen, welche nach kristallographischen Gesetzen angeordnet sind und sich durch etwas verschiedenen Gehalt an Nickel, Phosphor und Schwefel unterscheiden. Diese kleinen Unterschiede in der Zusammensetzung bewirken, daß die einzelnen Eisenlamellen von Säuren ungleich stark angegriffen und schneller oder

langsamer aufgelöst werden. Wenn man daher ein Meteoreisen durchschneidet und die polierte Oberfläche mit Salpetersäure anätzt, so tritt in der Regel auf der vorher ganz gleichmäßig erscheinenden Ebene plötzlich eine eigentümliche Lamellenanordnung hervor, da einzelne Blätter von der Säure mehr, andre weniger angegriffen werden; es entsteht dadurch eine sehr charakteristische Zeichnung, welche nach ihrem Entdecker den Namen der Widmanstättenschen Figuren (vgl. Abbildung, S. 112) erhalten hat. Daubrée, Meunier und Lawrence Smith ist die künstliche Nachahmung dieser Erscheinung durch Zusammenschmelzung von Eisen mit Nickel, Schwefeleisen und Phosphoreisen oder mit Silicium gelungen; in der Natur ist sie dagegen noch an keinem irdischen Körper beobachtet worden, so daß man durchaus berechtigt ist, für alle lose auf der Bodenoberfläche vorkommenden Eisenmassen, welche die Widmanstättenschen Figuren zeigen, meteorischen Ursprung anzunehmen. Dadurch sind wir zur Kenntnis einer ziemlich beträchtlichen Anzahl kosmischer Eisenmassen gelangt, während es solche, deren Fall wirklich beobachtet wurde, nur sehr wenige gibt (Hraschina bei Agram 1751, Tennessee 1835, Braunau in Böhmen 1845).

Es ist nicht nur ein geologisches Interesse, das sich an das Meteoreisen knüpft, auch für den Kulturhistoriker ist dasselbe von Bedeutung; das Eisen, das wichtigste aller Metalle für den Haushalt des Menschen, kommt rein, gediegen auf der Erde fast gar nicht vor, und die Gewinnung desselben aus seinen Erzen setzt schon einen verhältnismäßig hohen Kulturgrad voraus. Darum kam auch bei verschiedenen Völkern Bronze weit früher zur Verwendung und diente zur Herstellung mannigfaltiger Werkzeuge und Schmuckgegenstände. Nur das Eisen der Meteormassen ist dem Menschen von jeher leicht zugänglich gewesen, und in der That sehen wir, daß manche auf der niedersten Stufe stehende Stämme dasselbe verarbeitet haben; namentlich haben die Eskimo in Grönland außer dem Eisen, welches sie von gestrandeten Schiffen erhielten, auch solches von Meteorsteinen verarbeitet (vgl. obenstehende Abbildung einer Pfeilspitze), und ebenso kennt man Pfeilspitzen desselben Ursprunges von Madagaskar. Ja, es ist die Frage aufgeworfen worden, ob nicht die Menschheit überhaupt das Eisen und seine Verwendung zuerst durch die kosmischen Eisenmassen kennen gelernt hat und erst durch diese dazu geführt wurde, das Eisen auch in seinen Erzen aufzusuchen.



Aus Meteoreisen geschmiedete Pfeilspitze von Grönland.

So grundverschieden die Meteoreisen von den Meteorsteinen sind, so fehlt es doch nicht an verbindenden Übergangsgliedern; zunächst finden sich Vorkommnisse, in denen Eisen die Grundmasse bildet, welche Kristalle und kristallinische Körner von Olivin, einem aus Magnesia und Kieselsäure bestehenden Minerale, umschließt. Der deutsche Naturforscher Pallas hat im vorigen Jahrhundert auf seinen großen wissenschaftlichen Reisen in Rußland den ersten und weitaus bekanntesten Repräsentanten dieses Typus in der Nähe von Krassnojarsk, nicht weit von den Ufern des Jenissei in Sibirien, gefunden, wo die 1600 russische Pfund schwere Masse von den Umwohnern als ein vom Himmel gefallenes Heiligtum verehrt wurde. Dieses „Pallaseisen“, von dem sich ein Stück auf der Tafel „Meteoriten“ (S. 104) abgebildet findet, ist für die Geschichte der Wissenschaft von großem Interesse, weil Chladni durch dasselbe zu seinen epochemachenden Arbeiten über die Meteoriten veranlaßt wurde; man nennt diesen Typus der Meteoriten nach ihrem Entdecker „Pallasite“.

Die Mesosiderite (d. h. zur Hälfte Eisen), körnige Gemenge von gediegenem Eisen mit Olivin oder andern nichtmetallischen Mineralien, führen dann zu den eigentlichen Meteorsteinen über, in welchen gediegenes Eisen zwar meist noch vorhanden ist, aber nur in geringen, oft fast verschwindenden Mengen. Unter diesen Steinen bilden den häufigsten

Typus die **Chondrite**, die aus einer mehr oder weniger feinkörnigen, oft einem vulkanischen Tuffe ähnelnden grauen oder schwarzen Grundmasse bestehen, in welcher sehr eigentümliche und ihrer Entstehung nach noch nicht sicher erklärte Kugeln, ferner Körner von Olivin, Broncit, Nickeleisen rc. liegen (vgl. untenstehende Abbildung). Mit irdischen Gebilden zeigen diese Chondrite keine genaue Übereinstimmung; um so mehr ist das aber mit einigen andern Vorkommnissen, vor allen dem sogenannten Eukrit, der Fall, der aus einem kieselsäurearmen Feldspat, dem Anorthit, und aus Augit zusammengesetzt ist und sich ganz identisch unter den irdischen Gesteinen wiederfindet (z. B. in der Thjorsaa-Lava aus Island). Als wichtig ist ferner der Stein von Chassigny zu nennen, der aus Olivinfels mit eingesprengtem Chromeisensteine besteht und von weitverbreiteten irdischen Olivingesteinen kaum zu unterscheiden ist. Es würde zu weit führen, alle die einzelnen minder wichtigen Abänderungen hier aufzuzählen, welche in den Meteorsteinen auftreten. Wir wollen daher nur noch auf eine Art derselben aufmerksam machen, die sich von allen übrigen sehr weit unterscheidet und durch ihre Zusammensetzung von Interesse ist; es sind das die **Kohlenmeteoriten**, welche durch die Meteoritenfälle von Alais (1806) in Frankreich, von Cold-Bokkeveld im Kapland (1838), von Kaaba bei Debreczin in Ungarn (1857) und von Orgueil (1864) in Frankreich repräsentiert sind. Sie sind teilweise erdig-bröckelig und enthalten einen bedeutenden Anteil einer schwarzen Verbindung von Kohle mit Wasserstoff und Sauerstoff, deren Natur noch nicht genau ergründet ist.


Chondrit.

Was aber dem Studium dieser Meteorgesteine das größte Interesse verleiht, das sind die **Vergleiche mit den Gebilden unsrer Erde**, wodurch uns wichtige Aufschlüsse über manche Teile der Beschaffenheit unsers Planeten gegeben werden, über die wir keine direkten Beobachtungen anstellen können.

Wenn wir die einzelnen Bestandteile der Erde ins Auge fassen und deren Analoga an den Meteoriten aufsuchen, so fehlt natürlich alles, was an unsre Atmosphäre oder an die Wasserhülle des Meeres erinnern würde. Ebenso fehlen alle Vergleichungspunkte mit den aus Wasser abgesetzten fossilführenden Gesteinen, wie Kalk, Sandstein, Thon rc. Speziell hat man nach einem Beweis für die Existenz organischer Wesen an den Aerolithen mit allen möglichen Mitteln gesucht, aber immer ohne Erfolg, obwohl die kohligen Meteoriten einige Aussicht für die Auffindung der Spuren belebter Wesen zu bieten schienen[1]. Daß wir an den Meteoriten noch **keine Spur von Organismen entdeckt** haben, liefert allerdings noch keinen Beweis für das Fehlen derselben; wenn wir aber bedenken, daß diese Körper, ehe sie zu uns kamen, sich fern von der Sonne und andern wärmespendenden Gestirnen im kalten Weltraume bewegten und selbst eine Temperatur hatten, die jedenfalls mehr als 100° unter dem Nullpunkte betrug, so ist wenig Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, daß sie von lebenden Wesen bevölkert waren; war ja doch der Stein von Quenggouk unmittelbar nach dem Falle im Innern so kalt, daß er die Finger des Gefühles beraubte. Und wenn sie Organismen trugen, dann müssen die Existenzbedingungen für diese von denjenigen

[1] Ein in neuerer Zeit erschienenes großes Werk von Hahn sucht in den Chondriten durch mikroskopische Untersuchung Spuren verschiedener Organismen, die sogar mit irdischen große Ähnlichkeit haben sollen (Schwämme, Korallen, Krinoiden), nachzuweisen. Die mitgeteilten Belege sind aber nicht derart, daß sie zu überzeugen im stande wären.

der irdischen Lebewesen so total verschieden gewesen sein, daß wir uns von ihnen nicht einmal eine Vorstellung machen können. Darum dürfen wir auch die an sich etwas abenteuerliche Vermutung, daß die ersten Organismen mit Meteoriten auf die Erde herabgekommen seien, als eine Unmöglichkeit bezeichnen. Auch Gesteine der Granitfamilie, welche auf der Erde in der Regel die Unterlage der geschichteten Felsarten bilden, kommen unter den Meteoriten nicht vor; wohl aber enthalten sie Olivin- und Anorthitgesteine, die bei uns nur als Produkte vulkanischer Ausbrüche an der Oberfläche vorhanden sind, während sie in der Tiefe vermutlich in großen Massen vorkommen.

So weit bietet der Vergleich keine Schwierigkeiten; sehr verwickelte Probleme treten uns aber entgegen, wenn wir die Frage erwägen, ob auch die Eisenmassen der Meteoriten nahe Verwandtschaft mit Gesteinen haben, welche an dem Baue der Erde wesentlichen Anteil nehmen. Auf den ersten Blick scheint eine Antwort sehr leicht, da gediegenes Eisen zu den allerseltensten irdischen Vorkommnissen zählt, bis vor gar nicht langer Zeit überhaupt als Bestandteil unsers Planeten nicht mit Sicherheit bekannt war. Trotzdem gibt es eine Reihe von Gründen, die vor einem raschen Schlusse in dieser Beziehung warnen. Wir werden später bei der Besprechung des Gewichtes der Erde erkennen, daß dasselbe ein viel größeres ist, als es sein müßte, wenn diejenigen Gesteine, die wir äußerlich sehen, die ganze Masse unsers Planeten bilden würden.

Es ist bekannt, daß verschiedene Stoffe bei gleichem Volumen verschiedenes Gewicht haben; gleichgroße Würfel von Holz, Marmor, Eisen sind ungleich schwer, diese Substanzen haben also verschiedene Dichtigkeit oder, wie der gewöhnliche Ausdruck lautet, verschiedenes „spezifisches Gewicht“. Als gemeinsamer Maßstab für das spezifische Gewicht aller festen und flüssigen Körper wird dasjenige des vollständig reinen Wassers gewählt, von welchem 1 ccm 1 g wiegt; man bezeichnet nun die Dichtigkeit des Wassers als 1 und gibt von andern Substanzen an, um wievielmal dieselben schwerer sind als dasselbe Volumen Wasser. 1 ccm Kalk wiegt 2,9 g, ist also 2,9mal schwerer als 1 ccm Wasser, und man sagt daher, Kalk hat das spezifische Gewicht 2,9. 1 ccm Gold wiegt 19,4 g, sein spezifisches Gewicht ist also 19,4.

Durch sinnreiche Versuche ist es nun gelungen, das spezifische Gewicht unsers Erdkörpers annähernd zu bestimmen: man nimmt dasselbe jetzt zu 5,5 an, d. h. der Erdball ist 5½mal schwerer, als er wäre, wenn er ganz aus chemisch reinem Wasser bestünde. Nun hat aber keins von allen an der Zusammensetzung der Erde in großer Masse teilnehmenden Gesteinen ein so hohes spezifisches Gewicht aufzuweisen. Wenn wir jedoch anderseits die großen Hauptgruppen von Gesteinen, die den Hauptanteil am Aufbaue der Erde nehmen, auf ihr spezifisches Gewicht prüfen, so finden wir, daß sie um so schwerer sind, je tiefer sie gegen das Erdinnere zu liegen (so haben die Sedimentgesteine im Durchschnitte ein spezifisches Gewicht von 2,6, Granit 2,7; beim Basalte steigt dasselbe auf 3, bei den Olivingesteinen auf 3,3—3,5). Die unmittelbare Folgerung aus diesem Verhalten ist offenbar, daß im Innern der Erde, unter der Olivinregion, Massen von sehr viel bedeutenderm spezifischen Gewichte lagern müssen, da die Dichtigkeit der Erde als eines Ganzen 5,5 beträgt. Einer solchen Anforderung entsprechen nur die schweren Metalle, so daß jetzt von den Geologen ziemlich allgemein der Kern der Erde als aus solchen bestehend angenommen wird; und da unter diesen das Eisen weitaus das verbreitetste ist, so ist es in hohem Grade wahrscheinlich, daß ein großer Teil des Erdinnern aus gediegenem Eisen bestehe. Die Seltenheit gediegenen Eisens auf der Erdoberfläche erklärt sich aber einerseits dadurch, daß aus so großen Tiefen Eruptivmassen weit schwieriger nach außen gelangen, anderseits durch die geringe Erhaltungsfähigkeit des gediegenen Eisens in feuchter Luft, in welcher es leicht oxydiert.

Von hervorragender Bedeutung ist hier ein vor wenigen Jahren von dem berühmten schwedischen Forscher Nordenskjöld gemachter Fund, der die wissenschaftliche Welt in große

Aufregung versetzte. Im Jahre 1870 berichtete Nordenskjöld, daß er an der Küste der grönländischen Insel Disko, an einem Ovifak oder Uigfak genannten Orte, einige riesige Eisenblöcke gefunden habe, von welchen einer 21,000, ein andrer 8000 kg wiege; in der Nähe ihres Fundortes befanden sich nach Angabe des Berichtes zwei Gänge von Basalt, von welchen der eine Stücke von gediegenem Eisen umschloß, während überdies das Gestein feine Flitterchen von Eisen in großer Zahl führte. Die chemische Zusammensetzung des Metalles zeigte große Ähnlichkeit mit derjenigen der Meteoriten, es enthielt Nickel und war von Troilit (Einfach-Schwefeleisen) begleitet, das bisher nur aus Aerolithen bekannt war. Endlich waren einzelne Eisenstücke von einem Gesteine umgeben, welches von dem sowohl meteorisch als irdisch vorkommenden Eukrit nicht zu unterscheiden war. Nordenskjöld hob sofort bei der Beschreibung hervor, daß dieses merkwürdige Vorkommen nur zwei Deutungen zulasse: entweder habe der Basalt bei seiner Eruption Teile von Eisenmassen aus dem Erdinnern losgerissen und dieselben an die Oberfläche mitgebracht, oder es habe zur Zeit der Basalteruption ein äußerst reicher Meteoritenfall stattgefunden, bei welchem die Eisenmassen und die Eukrite in die noch nicht erstarrten, weichen Basalte eingedrungen seien. In der Zwischenzeit war von der schwedischen Regierung eine neue Expedition nach Ovifak abgesandt worden, um die größten Blöcke abzuholen und eingehendere Studien an Ort und Stelle zu machen, zu welchen Nordenskjölds Zeit zu beschränkt gewesen war. Schon das Vorkommen kleiner Eisenpartikelchen in Form von Flimmern im Basalte war schwer mit dem meteorischen Ursprunge vereinbar, vor allem aber war die Beobachtung von Steenstrup entscheidend, daß das Hauptvorkommen des Eisens sich auf Ovifak beschränkt, daß aber auch an andern Punkten der Insel Disko die Basalte geringere Mengen von Eisen enthalten, welche offenbar nicht herabgefallen sein können. Das Eisen von Ovifak ist also ein losgerissenes Stück jener schweren Masse im Innern der Erde, deren Vorhandensein das spezifische Gewicht unsers Planeten verraten hatte, und wir finden demnach unter den Meteoriten auch für diese tiefsten Teile der Erde eine schlagende Analogie in den Meteoreisen.

Es sind höchst wichtige Thatsachen, welche wir kennen gelernt haben: die Meteoriten lehren uns, daß auf den Gliedern der Kometenwelt dieselben Stoffe und großenteils dieselben Mineralien und Gesteine vorhanden sind wie auf der Erde, und zwar ist es nicht die Oberfläche unsers Planeten, welche Vergleichspunkte liefert, sondern es sind die Regionen der Tiefe; die Spektralanalyse zeigt uns das Vorkommen unsrer irdischen Elemente auf der Sonne wie auf den Fixsternen und Nebelflecken, und so erkennen wir die Einheit der Materie im ganzen Weltall, soweit das Auge in seine Ferne zu dringen vermag

---

2. Physische Beschaffenheit der Erde.

Inhalt. Gestalt und Größe der Erde. — Gewicht der Erde. — Temperatur im Erdinnern. — Die Dicke der Erdkruste.

Gestalt und Größe der Erde.

In immer engere Kreise schränkt sich unsre Betrachtung ein. Hatten wir es anfangs mit der Gesamtheit der uns sichtbaren Körper im Weltraume, mit zahllosen fernen Nebelflecken und Sonnen, zu thun, so konnten wir uns später mehr und mehr auf die Grenzen unsers Planetensystems beschränken; zu immer näher gelegenen Teilen desselben führte der Gang unsrer Vergleiche, bis wir jetzt auf dem Punkte angelangt sind, wo wir uns

dem Studium unsrer Erde allein widmen können. Ein Bild dieser in ihrem jetzigen Zustande in kurzen Zügen vor Augen zu führen, ist die nächste Aufgabe, um die fertigen Verhältnisse uns zu vergegenwärtigen, deren Entstehung und Veränderung den Hauptgegenstand der geologischen Studien bilden.

Während die erste, halb kindliche Auffassung in der Erde eine flache Scheibe, rings umflutet von dem Wasser des Ozeanes, sah, brach sich schon im klassischen Altertume allmählich die Ansicht von der Kugelform der Erde, wenigstens unter Gelehrten, Bahn. An die Namen von Pythagoras, Parmenides, Archimedes, Ptolemäos knüpft der Ursprung und die erste Begründung dieser Lehre an, und im Zeitalter des Wiedererwachens der Wissenschaften im Abendlande feiert diese Idee ihre Auferstehung. Die Überzeugung von ihrer Richtigkeit war es, welche Kolumbus zu seiner kühnen Fahrt nach dem unbekannten Westen führte, um auf diesem Wege Indien zu erreichen, und endlich lieferte die erste Weltumsegelung unter Magelhaens den unumstößlichen und handgreiflichen Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung.

Nachdem die Annahme der Kugelgestalt einmal gegeben war, mußte sich dem forschenden Geiste des Menschen als eins der wichtigsten Probleme die Aufgabe darstellen, die Größe der Erdkugel zu bestimmen. Schon 200 Jahre vor unsrer Zeitrechnung beschäftigte sich mit der Lösung derselben ein Mann, dessen Arbeit in dieser Richtung zu den glänzendsten Leistungen des Altertumes auf dem Gebiete der Naturforschung gehört und ihrem Urheber einen unvergänglichen Namen in der Geschichte der Wissenschaft sichert. Eratosthenes aus Athen, ein Beamter der Bibliothek in Alexandria, war es, der zuerst mit genialer Auffassung, wenn auch den Berichten nach mit sehr unzulänglichen Mitteln, das unternahm, was wir heute eine Gradmessung nennen.

Es ist natürlich nicht möglich, die Größe der Erde direkt in der Weise zu bestimmen, daß ein größter Kreis rings um deren ganzen Umfang gemessen wird, sondern die Methode, welche eingeschlagen wird, ist derart, daß die geographische Lage zweier Orte astronomisch genau fixiert und dann der Abstand beider auf irgend einem Wege unmittelbar gemessen wird; daraus wird die Länge eines Grades, d. h. des 360. Teiles des Erdumfanges, und dadurch mittelbar dieser selbst berechnet. Eratosthenes maß die Länge des Schattens, die ein senkrecht in der Erde steckender Pfahl (Gnomon) zu Alexandria am längsten Tage des Jahres um Mittag warf, während bekannt war, daß gleichzeitig unter dem Wendekreise bei Syene, dem heutigen Assuân in Oberägypten, die Sonne senkrecht stand und demnach vertikal stehende Körper keinen Schatten warfen; aus dieser Beobachtung des Sonnenstandes ergab sich der Abstand Alexandrias vom Wendekreise, den Eratosthenes zu 7° 12′ berechnete. Auf der andern Seite lieferten die äußerst sorgfältigen Katastervermessungen der ägyptischen Steuerbehörden eine direkte Bestimmung der Entfernung zwischen Alexandria und Syene, so daß also die Bedingungen für die Bestimmung der Länge eines Meridiangrades vorlagen. Eratosthenes berechnete diese Länge auf 700 Stadien, den ganzen Umfang der Erde demnach auf 360mal 700 = 252,000 Stadien. Die Länge des alexandrinischen Stadiums ist nach unserm heutigen Maße 158¼ m, und wenn man diesen Wert in die Berechnung des Eratosthenes einsetzt, so erhält man den Umfang der Erde gleich 5323 geogr. Meilen, ein Wert, der sich von dem wirklichen Umfange von 5400 Meilen so wenig entfernt, daß man über die mit so unvollkommenen Mitteln erzielte Genauigkeit staunen muß. Es ist allerdings richtig, daß diese Präzision bis zu einem gewissen Grade nur zufällig erreicht wurde, indem Fehler in der Bestimmung der geographischen Breite und in der Messung der Entfernung sich gegenseitig aufhoben; trotzdem aber ist die Annäherung an die richtige Größe eine ganz auffallende, und es fällt schwer, zu glauben, daß Eratosthenes wirklich zur Bestimmung

der Breite von Alexandria nur die Schattenlänge eines senkrechten Pfahles gemessen habe, wie von **Kleomedes** berichtet wird.

Zwei weitere Gradmessungen, von denen die eine im Anfange des 9. Jahrhunderts von arabischen Astronomen auf Befehl des Kalifen **Mamun**, die andre von dem französischen Arzte und Mathematiker **Fernel** im Jahre 1525 zwischen Paris und Amiens vorgenommen wurde, zeigen keinen Fortschritt gegen **Eratosthenes**; ja, es wurde sogar mit ziemlich zutreffenden Gründen behauptet, daß in diesen beiden Fällen nur Täuschungen vorlagen und einfach die Angaben des alexandrinischen Gelehrten in modernere Maße umgerechnet wurden. Eine neue Epoche in der Geschichte der Gradmessungen datiert erst von den Arbeiten des Holländers **Snellius** her, der zuerst trigonometrische Messungen bei der Bestimmung des Erdbogens zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar im Jahre 1615 und damit **diejenige Methode einführte, welche noch heute im größten Maßstabe angewandt wird.** Ihr Verfahren ist derart, daß zuerst eine Grundlinie oder Basis genau abgemessen wird. Wenn man nun von den beiden Enden derselben nach einem entfernten Punkte visiert, so erhält man ein Dreieck, in welchem eine Seite und die Winkel bekannt sind, Daten, aus denen man die beiden noch unbekannten Seiten leicht berechnen kann. Man hat nun schon drei Linien von bekannter Länge, und indem man von diesen aus wieder nach neuen Punkten visiert, die Dreiecke berechnet und diese Operationen immer wiederholt, kann man ein Netz von derartigen Dreiecken über ein ganzes Land ausdehnen und endlich den Abstand der Endpunkte der Gradmessung bestimmen. Nach diesen Operationen wird zum Schlusse eine zweite Basis, nämlich eine der berechneten Dreiecksseiten, direkt gemessen, um die Genauigkeit des ganzen Verfahrens zu kontrollieren. So einfach diese Methode im Prinzipe ist, so groß sind die Schwierigkeiten ihrer Ausführung; die unregelmäßige Gestalt der Erdoberfläche, die Einwirkung der Temperatur auf die Maßstäbe und eine Reihe andrer Fehlerquellen müssen berücksichtigt werden. Wenn man bedenkt, daß z. B. bei der Messung der Basis der spanischen Gradmessung, welche 14½ km lang ist, der Fehler wahrscheinlich nicht 3 mm beträgt, so genügt das wohl für den Beweis, daß die Ausführung einer solchen Arbeit, die den heutigen Anforderungen der Wissenschaft genügen soll, zu den schwierigsten und mühevollsten Aufgaben gehört, die im ganzen Bereiche der Naturforschung vorkommen, und daß deren Bewältigung nur mit den allergrößten Mitteln möglich ist. Das Verdienst, die Methode von **Snellius** wesentlich verbessert und auf Grund derselben die ersten großartigen Leistungen geliefert zu haben, gebührt unbestritten den Franzosen. Zuerst waren es die von **Picard** in den Jahren 1669 und 1670 zwischen Amiens und Malvoisine vorgenommenen Messungen, welche große Bedeutung erlangten; etwas später wurde die Kette der französischen Triangulierung von Dünkirchen am Englischen Kanal bis zum Mittelmeere erweitert.

Bei allen Folgerungen aus den Gradmessungen war man **anfangs von der Anschauung ausgegangen, daß die Erde regelmäßige Kugelgestalt besitze;** allein bald kam man zu der Überzeugung, daß dies in Wirklichkeit nicht der Fall sei. Man hatte die Bemerkung gemacht, daß Pendeluhren, deren Pendel in unsern Breiten genau Sekunden schlugen, in äquatoriale Gegenden gebracht, sich langsamer bewegten, so daß das Pendel, um den richtigen Gang herzustellen, etwas gekürzt werden mußte. Die französische Akademie schickte eine Expedition unter **Richer** nach Cayenne, um diese Thatsache genau festzustellen, und es ergab sich in der That die Notwendigkeit, das Sekundenpendel um 1¾ Linie kürzer zu machen. Die Bewegungen des Pendels werden durch die Anziehungskraft der Erde bestimmt; ergibt sich an einem Orte eine Verzögerung der Bewegungen, so kann daraus geschlossen werden, daß die Schwere hier mit geringerer Energie das Pendel in seine Ruhelage zurückzuführen strebt, daß die Anziehungskraft eine geringere ist. Da nun die Intensität

dieser letztern mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnimmt, so lag die Folgerung nahe, daß die Erde keine vollständige Kugel darstelle, sondern um den Äquator angeschwollen, an den Polen dagegen abgeplattet sei und ein sogenanntes Rotationsellipsoid, etwa von der Form einer Pomeranze, darstelle. Zu demselben Resultate gelangten Newton und Huygens auf theoretischem Wege, indem sie von der Voraussetzung eines ursprünglich flüssigen oder wenigstens plastischen Zustandes der Erde ausgingen. Nach ihrer Ansicht mußte in jener Zeit, in welcher die Erde flüssig oder plastisch war, der Körper infolge seiner Rotation um die eigne Achse durch die Wirkung der Zentrifugalkraft die Gestalt eines Rotationsellipsoides annehmen. Hätte unsre Erde diese Form nicht wirklich, so müßte infolge der zentrifugalen Kraft wenigstens das Wasser sich um den Äquator ansammeln, die Länder müßten hier überschwemmt, die Polargegenden vollständig trocken gelegt sein.

Die damals ausgeführten Gradmessungen waren für die Entscheidung dieser Frage nicht ausreichend. Ist die Erde wirklich an den Polen abgeplattet, so muß ein Meridiangrad um so kürzer sein, je näher er dem Äquator liegt; die französischen Messungen ergaben aber im Gegenteile in Südfrankreich etwas längere Meridiangrade als in Nordfrankreich. Dies veranlaßte namentlich den französischen Astronomen Cassini zu energischer Opposition gegen die Auffassung von Newton und Huygens; er behauptete, daß im Gegenteile die Erde um den Äquator abgeplattet und an den Polen verlängert sei wie eine Zitrone. Die damaligen Methoden waren jedoch nicht hinreichend, um die Längenunterschiede bei so wenig auseinander liegenden Gegenden wie Nord- und Südfrankreich außer Zweifel zu stellen. Zur Schlichtung dieser sehr heftig geführten Kontroverse beschloß die französische Akademie, zwei Meridianbogen in weiter Entfernung voneinander, den einen nahe dem Äquator, in Peru, den andern im hohen Norden, in Lappland, messen zu lassen. Bouguer und Condamine begaben sich zu diesem Zwecke 1735 nach Quito, Maupertuis und Clairault 1736 nach Lappland und führten dort ihre epochemachenden Arbeiten aus, die zwar den heutigen Anforderungen an eine Gradmessung nicht mehr entsprechen, aber für die damaligen Verhältnisse treffliche Resultate ergaben und die Abplattung der Erde an den Polen außer Zweifel stellten. Die Länge eines Meridiangrades wurde in Lappland mit 57,437, in Peru mit 56,753 Toisen bestimmt (eine Toise = 6 Pariser Fuß). Weitere Fortschritte brachte die zweite französische Gradmessung mit sich. Im Jahre 1790 beschloß die französische Nationalversammlung die Einführung eines neuen Maßsystemes, welches ein sogenanntes Naturmaß darstellen, d. h. eine von der Natur selbst gegebene Einheit als Grundlage haben sollte. Es wurde dazu der 40millionste Teil eines Erdmeridianes gewählt und derselbe als Meter bezeichnet; daß das Meter, wie es damals festgestellt wurde, diese Größe nicht genau darstellt, daß das metrische System also kein Naturmaß repräsentiert, ist eine Thatsache, und insofern ist der damalige Versuch gescheitert; aber die aus diesem Anlasse mit bedeutend verbesserten Mitteln ausgeführten Gradmessungen, welche sich von Dünkirchen bis Barcelona erstreckten, bilden einen bleibenden Gewinn für die Wissenschaft.

Seit jener Zeit haben die meisten Länder Gradmessungen durchgeführt; von der Südspitze von Europa bis zum Eismeere und von der atlantischen Küste bis zur Grenze Sibiriens erstrecken sich jetzt die gemessenen Dreiecke, und in Ostindien ist bereits ein großer Bogen bestimmt. Besondern Aufschwung haben diese Arbeiten genommen, seit auf Anregung des Generals Baeyer in Berlin deren einheitliche Leitung von der internationalen europäischen Gradmessungskommission in die Hand genommen worden ist. Immer größer wird die Genauigkeit der Messungsresultate, und jede spätere Berechnung liefert etwas andre Ergebnisse; aber trotzdem sind wir noch weit davon entfernt, die wahre Gestalt der Erde genau zu kennen. Im Jahre 1841 berechnete Bessel die Daten der

zehn zuverlässigsten unter den damals bekannten Gradmessungen und erhielt die folgenden Resultate:

Halbmesser der Erde vom Mittelpunkte zum Äquator 6,377,397 m
" " " " " " Pole. . 6,356,079 m
Abplattung an den Polen jederseits . . . . . . 21,318 m = $^1/_{299}$.

Im Jahre 1878 erhielt Clarke nach allen damals bekannten guten Messungen die folgenden Zahlen:

Äquatorialhalbmesser . . . . 6,378,190 m
Polarhalbmesser . . . . 6,356,455 m
Abplattung . . . . 21,735 m = $^1/_{293}$.

Verhältnismäßig sind die Abweichungen dieser beiden in einem Intervall von 37 Jahren vorgenommenen Berechnungen keine sehr bedeutenden; bedenkt man aber, daß eine Verschiedenheit in der Länge des Erdradius von einem Meter eine Änderung von fast 3 Quadratmeilen in der Größe der Erdoberfläche mit sich bringt, so erscheinen die Unsicherheiten in den Messungsergebnissen doch noch recht bedeutend. Auch bei dem heutigen Stande unsers Wissens ist die Ungewißheit eine sehr beträchtliche, ja man kann sagen, daß die Fachleute sich jetzt von einem endgültigen Resultate für viel weiter entfernt halten, als dies vor 40 Jahren der Fall war. In erster Linie sind die Gradmessungen nur über einen sehr kleinen Teil der Erde ausgedehnt; wenn wir von den schon alten und darum nicht sehr genauen Bestimmungen in Peru absehen, so beschränken sich die Daten auf Europa, Ostindien und ein kleines, im Jahre 1848 gemessenes Stück am Kap der Guten Hoffnung. Da nun jede neue Gradmessung die Resultate etwas verschiebt, so darf man wohl erwarten, daß ausgiebige Arbeiten in den Ländern der südlichen und westlichen Hemisphäre hier beträchtliche Modifikationen ergeben würden.

Die Berechnungen der Form der Erde werden dadurch erzielt, daß man die Messungsergebnisse aus allen Gegenden kombiniert; ganz andre Zahlen erhält man jedoch, wenn man z. B. die Abplattung nur nach der Gradmessung eines einzelnen Landes berechnet: es ergibt sich dabei, daß die Werte fast für jedes Land andre sind und zum Teile sehr beträchtlich abweichen, ohne daß das Vorhandensein von Ungenauigkeiten in der Bestimmung angenommen werden könnte. Während die Größe der Abplattung, aus allen Daten abgeleitet, jetzt mit $^1/_{293}$ berechnet wird, ist z. B. der Wert, der sich aus der großbritannischen Gradmessung ergibt, $^1/_{280}$, und ganz speziell ist es der ostindische Meridianbogen, welcher die größten Schwierigkeiten macht. Es müssen hier in der Natur vorhandene Unregelmäßigkeiten die Ursache sein, und diese Annahme wird dadurch bestärkt, daß die Größe der Abplattung nach den Gradmessungen eine andre ist als jene, welche nach andern Methoden erschlossen werden kann. Es wurde schon oben als ein Beweis für die Abplattung der Umstand erwähnt, daß dasselbe Pendel unter dem Äquator langsamer schwingt als in höhern Breiten; dieses Verhalten gibt die Möglichkeit an die Hand, nicht nur die Abweichung von der Kugelgestalt zu konstatieren, sondern auch den Betrag derselben zu messen, indem man die Länge eines Pendels, das genau Sekunden schlägt, unter verschiedenen geographischen Breiten bestimmt. Die Größe der Abplattung nach den Pendelversuchen ist $^1/_{288}$ gegen $^1/_{293}$ nach den jetzigen Gradmessungen, und es ist bemerkenswert, daß diese letztern mit zunehmender Genauigkeit immer größere Annäherung an das Resultat der Pendelversuche ergeben.

Die Gründe dieser Differenzen waren lange Zeit zweifelhaft, bis ein im Jahre 1868 erschienenes Werk von Ph. Fischer in Darmstadt die Ursache mit vieler Klarheit zeigte und dabei eine neue und bis dahin kaum geahnte Schwierigkeit aufdeckte, die sich einem endgültigen Erfolge der Gradmessungen entgegensetzt, nachdem von einigen englischen

Forschern schon früher die Verhältnisse, um welche es sich dabei handelt, in richtiger Weise gewürdigt worden waren. Wenn man die geometrische Gestalt der Erdoberfläche als eines Rotationsellipsoides bestimmen will, so muß man natürlich von Festländern und Inseln mit ihren unregelmäßigen Erhabenheiten absehen; nur das Meer, dessen bewegliche Fläche überall die von den Gesetzen der Schwere bedingte Form annimmt, kann dabei in Betracht kommen. Für die Berechnung der Gradmessungen werden daher alle Resultate auf das Niveau des Meeresspiegels bezogen. Man nahm an, daß dieser genau einem Rotationsellipsoide entspreche; denkt man sich nun alle Kontinente von einem Netzwerke von Kanälen durchzogen, welche mit dem Meere in offener Verbindung stehen, so würde auch in ihnen das Wasser überall in demselben Niveau stehen, und auf diese ideale Oberfläche des Rotationsellipsoides werden die Ergebnisse der Messung berechnet. Diese Annahmen sind jedoch nicht richtig; es ist bekannt, daß nach den Gesetzen der Schwere alle Körper sich gegenseitig im Verhältnisse ihrer Masse anziehen; offenbar muß dies auch zwischen den Kontinenten und den Meeren der Fall sein. Nicht nur die über das Wasser hervorragenden Teile der Festländer, sondern auch die Sockel, auf denen sie aus den Tiefen des Ozeanes zur Oberfläche heraufreichen, müssen eine gewaltige Attraktion ausüben. Es ist ja bekannt, daß Kontinente und Gebirge auch in andrer Beziehung diese Wirkung zeigen, und daß an ihren Rändern ein Lot keine genau senkrechte Lage annimmt, sondern von der Masse angezogen und abgelenkt wird; so bewirkt z. B. in Wlaoikawkas der Kaukasus eine Ablenkung des Lotes aus der senkrechten Lage, welche 36 Sekunden beträgt. In derselben Weise muß auch das Wasser von den Kontinenten angezogen werden; es muß ein allerdings sehr langsames und allmähliches Ansteigen des Meeresspiegels gegen die Küsten stattfinden. Der Betrag dieser Anhäufung des Wassers an den Küsten muß ein sehr beträchtlicher sein, und Fischer hat berechnet, daß an der Westseite von Südamerika, wo die gewaltige Kette der Anden nahe am Strande ansteigt, die Emporhebung des Wassers ungefähr 1000 m betragen muß. In der Mitte der Ozeane liegt also die Oberfläche des Wassers weit tiefer, d. h. sie ist unter gleicher geographischer Breite dem Erdmittelpunkte näher als an der Küste des Festlandes, und die Strandlinie liegt auf isolierten Inseln niedriger als an den großen Kontinentalmassen. Es ist ein sehr befremdender Gedanke, daß das Meer, wenn es in der Mitte ebenso hoch stünde wie an den Rändern, alle ozeanischen Inseln bis auf die höhern Berggipfel bedecken würde.

Das Ansteigen der Meeresfläche gegen die Kontinente ist natürlich ein so allmähliches, daß eine direkte Messung der Neigung nicht möglich ist; dagegen erhalten wir durch die Pendelbeobachtungen eine vollständige Bestätigung dieser theoretisch abgeleiteten Anschauungen. Es ergibt sich nämlich, daß die Pendel ausnahmslos auf isolierten Inseln sich rascher bewegen als an der Küste des Festlandes unter gleicher geographischer Breite, eine Erscheinung, die nur dadurch erklärt werden kann, daß erstere dem Erdmittelpunkte näher liegen als letztere; infolgedessen ist auf ihnen die Wirkung der Schwere eine intensivere und die Schwingung des Pendels eine raschere. Die größten Abweichungen finden sich auf kleinen ozeanischen Inseln, die mitten im Weltmeere liegen; so macht das Sekundenpendel auf den Bonininseln 14,2 Schläge mehr in einem Tage, als man nach der geographischen Lage annehmen sollte, auf Ualau 12,6, auf St. Helena 10,3, Ile de France 9,9, Fernando Noronha 9,4 ꝛc., während an kontinentalen Küstenstationen die Zahl der Schläge im Gegenteile kleiner ist, als man vermuten sollte.

Es ergibt sich daraus sofort, warum die Pendelbeobachtungen andre Werte ergeben als die Gradmessungen; die letztern sind ausschließlich auf großen Festländern oder auf kontinentalen Inseln gemacht, während die erstern sich zu einem sehr großen Teile auf Inseln beziehen, deren Küsten dem Erdmittelpunkte näher liegen als diejenigen der

Kontinente. Wir sehen aber auch gleichzeitig, welch außerordentliche Schwierigkeiten hier für die Gradmessungen erwachsen; die fundamentale Annahme, daß die Meeresoberfläche eine ganz regelmäßige Gestalt zeige, ist als unrichtig erwiesen, und, was noch wichtiger ist, die Unregelmäßigkeiten derselben, das Ansteigen des Wasserspiegels gegen die Kontinente, können nicht unmittelbar gemessen werden. Ferner ist natürlich die Anziehung verschiedener Kontinente eine verschiedene, auch ist sie an voneinander entfernten Punkten eines und desselben Kontinentes nicht dieselbe; Südamerika wird z. B. an seiner Westküste, wo die gewaltige Kette der Anden steht, das Wasser stärker an sich ziehen als an seiner flachern Ostküste. Aber auch bei viel engern Grenzen sind Abweichungen zu bemerken; im Mittelländischen Meere ist der Wasserspiegel niedriger als im Atlantischen, selbst in Irland haben genaue Nivellierungen, welche rings um die Küsten vorgenommen worden sind, bewiesen, daß dort gewisse Schwankungen in der Höhe des Meeresspiegels vorkommen. Es ist demnach der Nullpunkt an der Küste, von welchem die Gradmessungen ausgehen, durchaus nicht überall derselbe.

Je weiter die Gradmessung fortschreitet, je größer die Genauigkeit, je reicher die Erfahrungen werden, um so verwickelter wird das Problem, um so vielfältiger die Schwierigkeiten; von einem reinen Rotationsellipsoide kann bei den Unebenheiten der Meeresoberfläche nicht die Rede sein, ebensowenig entsprechen andre einfache geometrische Körper allen Voraussetzungen, z. B. ein Ellipsoid mit drei verschiedenen Achsen, bei welchem nicht nur die Meridiane, sondern auch der Äquator elliptische Gestalt hätte. Soweit heute ein Urteil möglich, ist das Rotationsellipsoid immer noch die Figur, mit welcher die Erde am meisten Übereinstimmung zeigt, wenn auch sehr namhafte Unregelmäßigkeiten und Abweichungen vorhanden sind. Alle diese Umstände bewirken, daß wir auch die Größe des Areales der Erdoberfläche nicht genau kennen, und daß diese Unsicherheit sich noch auf ziemlich beträchtliche Größen beläuft. Die Ausdehnung der Gradmessungen auf ein weit größeres Gebiet, auf diejenigen Erdteile, aus denen bisher noch keine Bogen mit hinreichender Sicherheit gemessen sind, und die Durchführung von Pendelbeobachtungen an möglichst vielen Punkten über die ganze Erde werden auch hier obschon kein absolut richtiges Resultat liefern, so doch wesentliche Fortschritte mit sich bringen.

Gewicht der Erde.

Ist es schon ein kühnes und großes Unternehmen, wenn der Mensch den gewaltigen Erdball bis auf geringe Größen genau zu messen versucht, so erscheint es wenigstens auf den ersten Blick fast eine unmögliche Aufgabe, die ganze Erde zu wägen, ihr Gewicht und ihre Dichtigkeit zu bestimmen. Trotzdem ist die Lösung auch dieses Problemes mit Erfolg in Angriff genommen worden, und obgleich durchaus genaue Resultate noch nicht erzielt sind, so nähert man sich doch augenscheinlich der Wahrheit mehr und mehr. Die hierbei angewendeten Methoden sind sehr verschieden; die ersten Untersuchungen wurden von Hutton und Maskelyne in den Jahren 1774—76 in Schottland angestellt. Oben wurde erwähnt, daß Gebirge durch die Anziehung ihrer Masse ein frei herabhängendes Lot etwas aus der senkrechten Lage ablenken; wenn nun der Betrag dieser Ablenkung sowie die Masse des Gebirges bekannt sind, so kann daraus das Gewicht der Erde, das ja die senkrechte Stellung des Lotes bewirkt, berechnet werden. Hutton und Maskelyne wählten für ihre Experimente den isolierten Berg Shehallien in der Nähe von Perth in Schottland; der Körperinhalt desselben wurde gemessen und daraus mit Hilfe der annähernd bekannten Dichtigkeit der Gesteine das Gewicht des ganzen Berges bestimmt. Nun wurde

nördlich und südlich vom Shehallien das Lot beobachtet und dessen Abweichung von einer durch astronomische Beobachtung festgestellten Senkrechten auf beiden Seiten gemessen. Damit waren die Elemente für die Berechnung der gesuchten Größe gegeben, und das Resultat war, daß die Erde als Ganzes 4,7mal schwerer sei als eine gleichgroße Kugel aus reinem Wasser, oder, mit andern Worten, das spezifische Gewicht oder die Dichtigkeit der Erde wäre demnach 4,7mal diejenige des Wassers. Dieses Resultat ist allerdings wohl noch kein sehr genaues, denn eine Wiederholung desselben Verfahrens am Berge Arthur's Seat bei Edinburg durch James im Jahre 1856 ergab die mittlere Dichte der Erde zu 5,3, und wiewohl sich diese letztere Angabe der Wahrheit jedenfalls mehr nähert als die frühere, kann doch die ganze Methode der Bestimmung mittels Beobachtung der Lotablenkung durch Berge nicht als sehr zuverlässig und präzis gelten, da die Ausmessung des Kubikinhaltes eines großen Berges, die Bestimmung der Lage seines Schwerpunktes und der Dichtigkeit der Gesteine, die ihn zusammensetzen, nie mit großer Genauigkeit möglich sind.

Dasselbe gilt auch von einer zweiten Methode, welche das Gewicht der Erde dadurch zu bestimmen sucht, daß die Veränderungen der Schwere auf den Höhen von Gebirgen oder in den Tiefen von Bergwerken durch die Zahl der Schwingungen eines Pendels gemessen werden; auch hier sind die Resultate wenig zuverlässig. Die besten Ergebnisse hat bis jetzt ein drittes Verfahren geliefert, welches zuerst von Cavendish, später von Baily, Cornu und Reich angewendet wurde. An einem ganz gleichmäßig gearbeiteten hölzernen Stabe werden an beiden Enden genau gleiche Kugeln befestigt und das Ganze in der Mitte an einem Faden in der Weise aufgehängt, daß der Stab sich vollständig wagerecht befindet. Man nähert nun den zwei an den Enden befindlichen Kugeln Bleimassen, die im Verhältnisse ihrer Schwere die Kugeln anziehen, wodurch der Stab etwas aus seiner Gleichgewichtslage gebracht werden und sich um den Faden drehen wird, an dem er aufgehängt ist. Das Gewicht der anziehenden Bleimassen ist bekannt, und die Intensität ihrer Anziehung auf die Kugeln kann gemessen werden; ebenso kennt man die Anziehung, welche die Erde auf die beiden Kugeln ausübt, d. h. das Gewicht dieser letztern, und kann nun aus diesen Daten die Masse der Erde berechnen. Die Ergebnisse der Versuche weichen verhältnismäßig nur wenig voneinander ab; Cornu, der zuletzt und mit wesentlich verbesserten Mitteln seine Arbeiten machte, fand die Dichte der Erde = 5,56, d. h. die Erde 5,56mal schwerer als eine gleichgroße Kugel von Wasser, und diese Zahl wird jetzt in der Regel angenommen. Neuerdings haben auch Jolly in München und Paynting in Manchester angefangen, das Gewicht der Erde mit der Wage in der Weise zu bestimmen, daß die Gewichtszunahme beobachtet wird, die eine Wagschale erleidet, wenn eine Bleikugel unter dieselbe gebracht wird; Paynting bestimmte auf diesem Wege die Dichte der Erde zu 5,69.

Die bedeutende Schwere der Erde ist eine Thatsache von größter Wichtigkeit; um ihre Bedeutung zu verstehen, müssen wir die Erdschwere mit dem spezifischen Gewichte verschiedener Körper vergleichen: die Dichte derjenigen Gesteine, welche die Erdkruste zusammensetzen, ist eine weit geringere und kann im Mittel höchstens auf 2,7 angeschlagen werden; Kalke und Dolomite, Thone, Sandsteine, Granite, Porphyre, Trachyte, Basalte, kristallinische Schiefer bleiben fast alle unter der Zahl 3 in ihrem spezifischen Gewichte zurück, die meisten derselben sogar sehr erheblich, nur gewisse Basalte steigen etwas höher. Selbst Magneteisenstein zeigt noch geringere Dichte (4,9—5,2) als die Erde, und erst die schweren Metalle übertreffen sie. Wenn demnach die Massen, welche die Kruste bis zu beträchtlicher Tiefe zusammensetzen, so viel leichter sind, dann ergibt sich der natürliche Schluß, daß in größern Tiefen der Kern der Erde aus sehr schweren Körpern, aus Metallen, bestehe. Wir haben oben gesehen, daß der Vergleich der Meteoriten mit der

Erde, das Vorkommen meteorischer Eisenmassen und deren Verwandtschaft mit dem eruptiven Eisen von Ovifak in Grönland uns auf das Vorhandensein großer Mengen dieses Metalles im Erdinnern hinweisen; ja, vielleicht finden sich gegen das Innere der Erde sogar Anhäufungen von edlen Metallen, den schwersten Körpern, die wir überhaupt kennen[1].

Temperatur im Erdinnern.

Nach den vorausgegangenen Darlegungen müssen große stoffliche Verschiedenheiten zwischen Kruste und Kern der Erde herrschen, allein die Gegensätze zwischen beiden beschränken sich nicht darauf, es müssen solche auch in den physikalischen Verhältnissen in beträchtlichem Maße vorhanden sein. Vor allem andern sind hier die Temperaturverhältnisse von Wichtigkeit, und alle Beobachtungen weisen darauf hin, daß eine Wärmezunahme nach der Tiefe stattfinde. Die Vulkane bringen geschmolzene Gesteinsmassen aus dem Schoße der Erde und verraten uns dort das Vorhandensein einer hohen Temperatur; die heißen Quellen, die an zahllosen Stellen dem Boden entsteigen, müssen aus Regionen stammen, in denen bedeutende Wärme vorhanden ist. Allein wenn diese Zeugen auch die Thatsache unwiderleglich beweisen, so gestatten sie uns doch das nicht, worauf es vor allem ankommt: die genaue Bestimmung des Betrages, um welchen die Temperatur beim Hinabsteigen in die Tiefe sich erhöht. Die Möglichkeit für messende Beobachtungen erhalten wir in Bohrlöchern, Bergwerken und großen Tunnelanlagen; alle derartigen technischen Unternehmungen, wenn sie in bedeutendem Maßstabe ausgeführt werden, sind daher für die Kenntnis der Wärmeverhältnisse im Erdinnern von großer Wichtigkeit.

Die Temperatur der obersten Lagen der Erdrinde ist lediglich von derjenigen der Atmosphäre abhängig. Dicht unter der Oberfläche ist der Boden bis zu einer je nach den Gegenden verschiedenen Tiefe im Sommer warm, im Winter kalt; aber bald kommt man in eine Lage, in welcher der Einfluß der Jahreszeiten sich nicht mehr geltend macht; sie zeigt ungefähr die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes ohne irgend welche Schwankungen. Das bekannteste Beispiel für dieses Verhalten bietet der Keller der Pariser Sternwarte, in dem ein von Lavoisier im Jahre 1783 in einer Tiefe von 27,6 m aufgestelltes Thermometer seit hundert Jahren unverändert 11,6° C. zeigt. In den heißen äquatorialen Ländern, in welchen die Wärmeunterschiede während des Jahres zwischen weit engern Grenzen schwanken als bei uns, gelangt man schon bei etwa 6 m in diese unveränderliche Schicht. Gegen die Pole zu ist der Boden bis in sehr beträchtliche Tiefe gefroren. In Europa nimmt der nordische Eisboden allerdings nur sehr geringe Ausdehnung ein, indem er bloß den nördlichsten Rand des Kontinentes umfaßt; in Asien senkt er sich dagegen, je weiter man nach Osten vorschreitet, mehr und mehr nach Süden, so daß er am Baikalsee noch unter 53°, am Amur unter 50°, d. h. in der geographischen Breite von Frankfurt a. M., vorhanden ist. Auch im östlichen Nordamerika erstreckt er sich an der Hudsonsbai fast ebensoweit nach Süden. Über die Tiefe, bis zu welcher das Eis in den Boden reicht, gibt eine in Ostsibirien bei Jakutsk an der Lena unternommene Brunnengrabung Aufschluß, bei welcher noch in 116½ m Tiefe eine Temperatur von —3° C. gefunden wurde.

---

[1] Diese sehr allgemein angenommenen Schlüsse berücksichtigen allerdings nicht, daß unter dem in großen Tiefen herrschenden Drucke auch andre Körper, selbst Gase, ein derartiges Gewicht erlangen können.

Wenn man aus jener Bodenlage, die unveränderlich die mittlere Jahrestemperatur der Atmosphäre des betreffenden Ortes zeigt, mit einem Schachte oder einem Bohrloche in die Tiefe steigt, so findet man stets zunehmende Wärme; die ersten Mitteilungen über diesen Gegenstand findet man in dem „Mundus subterraneus“ („Die unterirdische Welt“), welcher den gelehrten Jesuiten Kircher aus Fulda zum Verfasser hat. Dieses interessante Werk, in dem man, wie schon in der Einleitung hervorgehoben ist, ein merkwürdiges Gemisch von tiefer Gelehrsamkeit und richtiger Auffassung mit einem auffallenden Zurückbleiben und Ankämpfen gegen manche große Fortschritte der Wissenschaft findet, ist im Jahre 1662 erschienen; in dem zehnten Buche, worin das Vorkommen und die Verarbeitung der Metalle behandelt werden, gibt der Verfasser an, daß ihm bei der Behandlung dieses Gegenstandes große Schwierigkeiten aufgestoßen seien; er habe sich daher durch Vermittelung einiger Jesuiten in Neusohl an die Ingenieure der ungarischen Bergwerke gewendet, „welche an Berühmtheit nirgends in der Welt übertroffen werden“, und denselben eine Anzahl von Fragepunkten vorgelegt. Die elfte unter diesen Fragen bezieht sich auf „Hitze und Kälte in den Bergwerken“, ob die Wärme mit der Tiefe zunehme, und ob man unterirdisches Feuer bemerke. Aus Schemnitz traf die Antwort ein, bei guter Ventilation sei weder übermäßige Hitze noch Kälte zu bemerken, wohl aber seien die Gruben bei mangelnder Luftzirkulation immer warm. Von besonderm Interesse ist die Antwort von Johann Schapelmann in Herrengrund: er gibt an, daß in trocknen Bergwerken die Temperatur stets nach der Tiefe steige; wo dagegen Wasser „zusitze“, sei die Wärme geringer (weil das von der Oberfläche einsickernde Wasser abkühlt); am heißesten seien solche Strecken, in welchen Markasit vorkomme[1]. Auch aus dem Anfange des vorigen Jahrhunderts liegen einige Beobachtungen von Boerhave und Mairan über diesen Gegenstand vor, aber erst mit dem letzten Dezennium des vorigen und dem Anfange dieses Jahrhunderts beginnen genaue Untersuchungen in großer Zahl. Es waren Freiesleben und A. v. Humboldt in Sachsen, Saussure in der Schweiz und d'Aubuisson in Frankreich, welche vorangingen, und seither ist die Zahl der Temperaturbeobachtungen in Bergwerken eine außerordentlich große geworden; namentlich sind die Untersuchungen in Preußen, die v. Dechen bekannt machte, sowie diejenigen von Reich in Sachsen von Wichtigkeit gewesen.

Annähernde Resultate erhält man schon durch die Messung der Temperatur der Luft in den vom Ausgange entferntesten Teilen der Gruben oder der Temperatur der Wasser, die sich stellenweise ansammeln; auf wirkliche Genauigkeit haben jedoch nur solche Beobachtungen Anspruch, durch welche die Wärme des Gesteines festgestellt wird, eine Operation, die mancherlei Vorsicht notwendig macht. Um ganz gute Ergebnisse zu erhalten, muß dieselbe in einer erst ganz neu eröffneten Strecke vorgenommen werden, in welcher die Gesteinstemperatur durch die Luft noch nicht wesentlich beeinflußt ist; wie groß die Differenzen sein können, welche durch diese Operation erzielt werden, zeigt die Kohlengrube von Bucknall in England, in der die Kohle zur Zeit der Eröffnung 22°, zehn Monate später dagegen nur noch 15° Wärme hatte. Die Thermometer werden möglichst tief in Bohrlöcher eingesenkt, die eigens zu diesem Zwecke senkrecht in die Oberfläche des Gesteines getrieben werden; da jedoch durch das Bohren Wärme erzeugt wird, so muß man mit den Beobachtungen noch einige Zeit warten, bis das Loch sich wieder abgekühlt hat. Endlich muß dann das Thermometer mit möglichster Sorgfalt vor aller Lufteinwirkung geschützt werden. So kann man zwar nicht vollständig richtige, aber doch von der wahren Temperatur nur noch sehr wenig abweichende Werte erhalten.

---

[1] Der Markasit, eine Verbindung von Schwefel und Eisen, oxydiert an der Luft, er nimmt Sauerstoff auf und wird zu schwefelsaurem Eisenoxydul, ein Prozeß, bei welchem Wärme erzeugt wird.

Die Zahlen, welche sich auf diese Weise ergeben, zeigen die größten Abweichungen; als ein allen gemeinsames Resultat kann nur bezeichnet werden, daß die Temperatur in der Tiefe, abgesehen von den durch Luft- und Wasserzutritt hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten, konstant ist, und daß stets eine Wärmezunahme nach der Tiefe stattfindet; um miteinander vergleichbare Größen zu erhalten, berechnet man für jeden einzelnen Fall, wie tief man niedersteigen muß, um eine Vermehrung der Temperatur um 1° C. zu erhalten, einen Betrag, den man als die „geothermische Tiefenstufe" (γῆ [gae], die Erde, und θέρμος [thermos], die Wärme) bezeichnet. In den preußischen Bergwerken fand man den höchsten Betrag dieser Stufe mit 115,3 m, den niedrigsten mit 15,5 m, im Mittel mit 54,3 m, während in Sachsen als Durchschnitt sich 41,8 m ergab; Berichte aus Schemnitz aus dem Jahre 1877 schwanken zwischen 30,3 und 51,1 m in verschiedenen Schächten und ergeben im Mittel 41,4 m. Auffallend klein war die Tiefenstufe in einem Kohlenbergwerke bei Monte Massi in Toscana, wo die Temperatur schon für je 13,7 m um 1° steigt; in einem Bohrloche zu Neuffen in Württemberg, das bis zu 339,5 m hinabreichte, fand Graf Mandelsloh sogar eine Tiefenstufe von 11 m. In den Goldgruben am Comstockgange in Nevada hat man in 610 m Tiefe 40° Lufttemperatur, während der Adalbertschacht zu Přibram in Böhmen bei 889 m eine Gesteinstemperatur von 21,8° und eine Lufttemperatur von 17° zeigt. Auch in einem und demselben Bergwerke ist mitunter die Zunahme eine äußerst unregelmäßige; so zeigt die Rosebridgegrube in England in ihren obern Teilen eine Tiefenstufe von 47,2 m, dieselbe sinkt dann auf 18,1 m und steigt schließlich wieder auf 29,6 m, während die ganz nahe liegende Duckfieldgrube, ein Kohlenbau wie jene, in ihrem Gesamtverlaufe bei einer Zunahme von 1° auf 45,8 m verharrt. Im ganzen kann als Regel gelten, daß die Temperatur in Kohlenbergwerken nach der Tiefe zu sich rascher steigert als in Erzbergbauen, eine Erscheinung, die offenbar durch die in der Kohle fortwährend vor sich gehenden chemischen Vorgänge verursacht wird; unter den Erzgängen haben diejenigen, in welchen leicht oxydierbare Schwefelmetalle vorkommen, die höchste Temperatur.

Eine weitere Reihe von Beobachtungen liefern die artesischen Brunnen, die uns die Temperatur anzeigen, welche das Wasser in einer gegebenen Tiefe besitzt; sie zeichnen sich vor den Resultaten, die man aus Bergwerken erhält, durch weit geringere Unregelmäßigkeiten und durch relativ raschere Zunahme der Wärme nach der Tiefe aus. Der Grund dieser Verschiedenheit ist noch nicht mit genügender Sicherheit festgestellt. Einige der wichtigsten Resultate aus der Beobachtung artesischer Brunnen sind in der folgenden Tabelle mitgeteilt:

Ort der Bohrung	Erreichte Tiefe in Metern	Temperatur des austretenden Wassers	Geothermische Tiefenstufe in Metern
Grenelle bei Paris	547	27,7°	32,6
Rüdersdorf bei Berlin	696	33,6°	26,9
Neusalzwerk (Westfalen)	671	34°	29,6
Rouen	—	—	28,5
Mondorf	—	—	28,6
Pitzpuhl bei Magdeburg	—	—	25,1
La Rochelle	—	—	19,[illegible]
Artern in Thüringen	—	—	37,7
Liverpool	539	—	86,6
Kentish-Town	307	—	36,8

Von wesentlicher Bedeutung für die Kenntnis der Temperaturzunahme nach der Tiefe sind zwei großartige technische Unternehmungen der neuesten Zeit geworden, bei welchen glücklicherweise die Wärmeverhältnisse mit der größten Sorgfalt beobachtet wurden; das tiefste Bohrloch und der längste Tunnel der Erde sind es, welche Erfahrungen für die Erweiterung der Wissenschaft geliefert haben. Bei Sperenberg, 42 km südlich von Berlin, befindet sich am Ufer eines kleinen Sees, des Krummensees, eine 26,7 m hohe Bodenanschwellung, welche aus Gips besteht, in der Mitte der Ebene. Der Umstand, daß vielfach unter dem norddeutschen Flachlande Gips in Verbindung mit Steinsalz auftritt, gab Anlaß, hier ein Bohrloch in die Tiefe zu treiben, das 1867 in der Sohle eines verlassenen Gipsbruches angesetzt wurde; man durchsank zuerst 0,63 m Schutt, dann 88,18 m Gips und Anhydrit, hierauf wurde reines Steinsalz erreicht, in welchem das Bohrloch 1182,64 m tief weiter getrieben wurde, ohne die ganze Salzmasse zu durchdringen und die Unterlage, „das Liegende", zu erreichen. Zwar war das Vorhandensein eines ungeheuern Reichtums an Salz schon bei geringerer Tiefe konstatiert, allein aus Rücksicht auf die wissenschaftliche Bedeutung des Unternehmens hatte man die bedeutenden Kosten einer so tiefen Bohrung nicht gescheut; im September 1871 wurde in einer Gesamttiefe von 1272 m die Arbeit abgebrochen, nachdem man weiter als an irgend einem andern Punkte ins Innere der Erde vorgedrungen war.

In den verschiedenen Stadien der Bohrung wurden von Dunker sehr genaue Temperaturbeobachtungen gemacht, die sich dadurch auszeichnen, daß die größte Sorgfalt auf möglichste Ausschließung aller Fehler verwendet ward; namentlich war das Thermometer durch Abschluß der Wassersäule im Bohrloche mittels Kautschukhüllen von oben und unten gegen Strömungen geschützt. Diese Maßregeln, ferner die Tiefe des Bohrloches und der Umstand, daß in das letztere keine Quellen einmünden, machen diese Temperaturbeobachtungen zu den bei weitem wichtigsten, die bis zum damaligen Zeitpunkte erhalten waren; höchstens können sich ihnen noch die Untersuchungen im Gotthardtunnel an die Seite stellen. Die Resultate, die in verschiedenen Tiefen des Bohrloches erhalten wurden, sind folgende:

Tiefe in Metern . .	26,7	223,0	286,7	350,4	414,1	477,8	605,2	669,0	1080,0	1268,6
Temperatur . . .	9°	21,6°	23,5°	26,4°	26,9°	30,9°	33,1°	35,9°	46,5°	48,1°

Geothermische Tiefenstufe für 1° Celsius: 31,8 m.

Noch tiefer ins Innere der Erde dringen die gewaltigen Tunnelbauten, wie sie in neuerer Zeit in den Alpen ausgeführt wurden und noch weiter projektiert sind; beendet ist bis jetzt die Durchbohrung des Mont Cenis, des Gotthard und des Arlbergs[1], in Aussicht genommen jene des Simplon. Die Gelegenheit, welche der Bau am Mont Cenis bot, wurde leider nicht genügend benutzt, indem nur auf italienischer Seite einige Temperaturbeobachtungen von Giordano vorgenommen wurden, während auf der französischen gar nichts geschah und so hier wichtiges Material unrettbar für die Wissenschaft verloren ging. Glücklicherweise wurde bei den bald darauf begonnenen Arbeiten am Gotthard Fürsorge getroffen, um alle geologischen Beobachtungen anzustellen und zu sammeln, zu welchen Anlaß gegeben war, und in dem Ingenieur Stapff ein Mann für die Lösung dieser wichtigen Aufgabe bestellt, welcher ihre Bedeutung zu würdigen und den schwierigen Anforderungen zu entsprechen verstand. Neben der Anfertigung eines geologischen Profiles durch den Tunnel und der Aufsammlung der in demselben anstehenden Gesteine war es vor allem die Beobachtung der Temperatur, die mit der größten Sorgfalt durchgeführt wurde.

Das Nordportal des Gotthardtunnels befindet sich im Reußthale bei Göschenen 1109 m, das Südportal bei Airolo im Thale des Tessin 1145 m ü. M.; die Entfernung zwischen

[1] Nachrichten über die Temperaturverhältnisse im Arlbergtunnel liegen nicht vor.

beiden, also die Länge des Tunnels, beträgt 14,920 m. Natürlich ist jedoch für die Gesteinstemperatur eines Punktes nicht seine horizontale Entfernung von der Mündung maßgebend, sondern die Höhe, bis zu welcher Gestein über ihm liegt. Es hängt also die Wärme, welche die einzelnen Teile des Tunnels erreichen, namentlich von dem Relief des darüberliegenden Gebirges ab, und bei der Bestimmung der geothermischen Tiefenstufe für einen Punkt muß stets dessen Entfernung von der nächstgelegenen Stelle der Oberfläche in Rechnung gezogen werden.

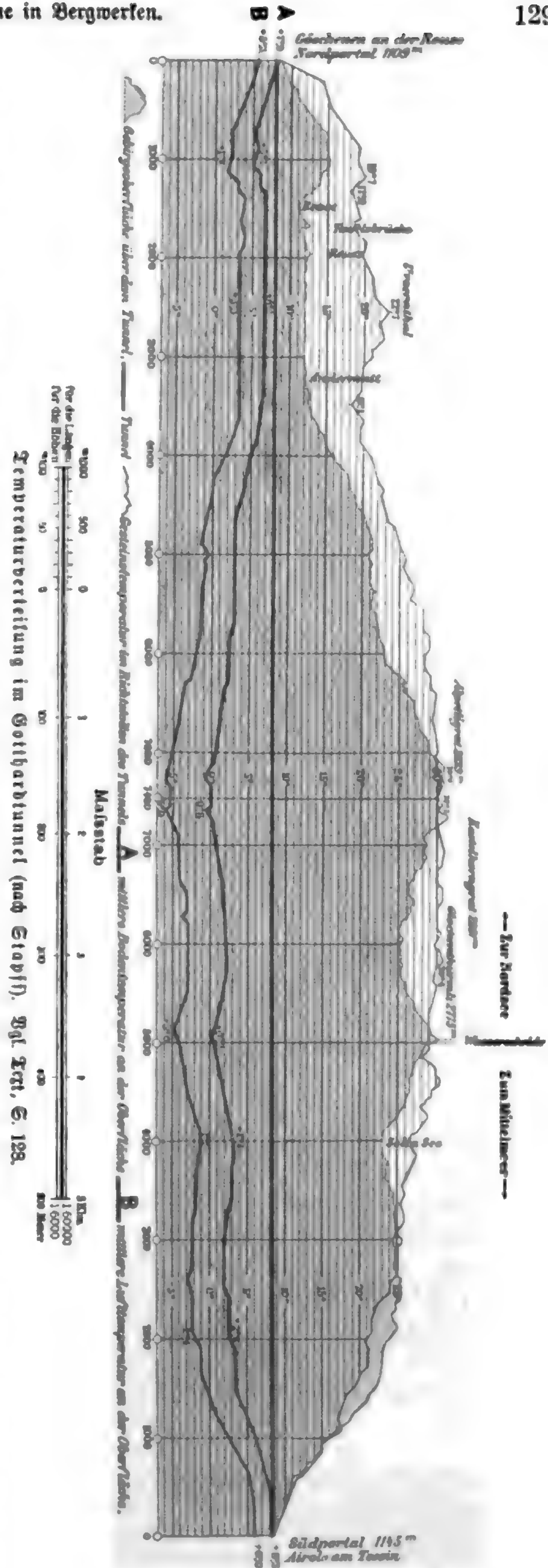
Die Ergebnisse der Beobachtungen von Stapff sind auf der Abbildung, S. 129, angegeben, auf welcher durch verschiedene Linien die Gesteinstemperaturen für die ganze Erstreckung des Tunnels, die mittlere Jahrestemperatur der Luft, wie sie an der Oberfläche auf der ganzen Terrainlinie über dem Tunnel herrscht, und endlich für dieselbe Strecke die Bodentemperatur an der Oberfläche ersichtlich gemacht sind. In die Temperaturskala ist ferner ein Profil des Gebirgsreliefs, das sich über dem Tunnel erhebt, mit grauem Tone eingedruckt, um sofort den Einfluß der überlagernden Gesteinsmassen auf die Wärmezunahme im Tunnel zu veranschaulichen. Die höchsten Temperaturen, welche erreicht wurden, erhoben sich etwas über 30°, das Maximum betrug 30,8°. Ein Blick zeigt, daß im allgemeinen die Wärmezunahme der Höhe der überlagernden Gebirgsmassen entspricht, daß aber die Übereinstimmung keine absolute ist; im Verhältnisse sind, wie das zu erwarten war, die vom Thermometer angezeigten Schwankungen geringer als die Unebenheiten der Oberfläche, d. h. unter Bergspitzen nimmt die Wärme relativ weniger zu, unter Thälern weniger ab. Eine wesentliche Abweichung zeigte sich nur unter dem Thalboden von Andermatt, wo die Temperatur eine verhältnismäßig sehr hohe war, vermutlich wegen des Auftretens von Gips in dieser Partie, in welchem Wärmeentwickelung durch chemische Vorgänge wahrscheinlich ist. Die geothermische Tiefenstufe betrug ungefähr 50,3 m.

Aus allen den Beobachtungen, die bis jetzt vorliegen, muß man einen Durchschnittswert für die Zunahme der Temperatur in der Tiefe abzuleiten suchen. Diese Aufgabe bietet große Schwierigkeiten, da die einzelnen Zahlen, die an verschiedenen Punkten erhalten werden, sehr weit voneinander abweichen, und da überdies die zwei Methoden, die Bestimmung der Wassertemperatur in Tiefbohrungen einerseits und der Gesteinstemperatur in Bergwerken und Tunnelanlagen anderseits, durchgängige Verschiedenheiten ergeben. Sehr mannigfaltig sind die Ursachen, welche Unterschiede bedingen: Kohlenbergwerke sind in der Regel verhältnismäßig warm infolge der chemischen Vorgänge, der in ihnen stattfindenden Oxydationsprozesse; aus demselben Grunde zeigen auch solche Metallminen hohe Temperatur, in welchen an der Luft sich leicht zersetzende Schwefelmetalle (Kiese) vorkommen. Aber auch insofern können Metalle Wirkung ausüben, als sie sehr gute Wärmeleiter sind und daher die Temperatur tieferer Lagen leichter nach oben mitteilen können. Wo Wasseradern aus größerer Tiefe aufsteigen, bringen sie ebenfalls Wärme mit sich, während anderseits das Eindringen von Wasser von der Oberfläche eine Abkühlung bewirkt. Es liegt also eine Reihe von Faktoren vor, deren Wirksamkeit unbestreitbar ist, deren Einfluß aber in jedem einzelnen Falle oder auf die Gesamtheit der Beobachtungen zu bemessen wir ganz außer stande sind.

Auch von der Oberflächenbeschaffenheit hängt die Wärmezunahme nach der Tiefe ab; in einem hoch aufragenden Berge, der verhältnismäßig wenig Masse besitzt, wird die Abkühlung rasch vor sich gehen und daher die geothermische Tiefenstufe eine große sein. Anders wird es sich verhalten, wenn man die vom Boden eines Süßwassersees oder des Meeres nach abwärts auftretenden Temperaturen ins Auge faßt; tiefe Süßwasserseen zeigen am Grunde fast durchgängig 4° über dem Nullpunkte, und im Meere ist die Temperatur noch erheblich niedriger; es wird daher von dort aus die Wärmezunahme eine ziemlich rasche sein.

Unter diesen Umständen steht man einer Reihe von schwer zu bewältigenden Zweifeln gegenüber. Da die Beobachtungen bei Bohrungen in der Regel konstantere Resultate liefern als diejenigen in Bergwerken, so hält man sie für zuverlässiger und nimmt die aus ihnen im Durchschnitte sich ergebende **Wärmezunahme von 1° C.** auf 33 m als diejenige Zahl an, welche **den Verhältnissen der Erde im allgemeinen am besten entspricht.** Trotzdem aber mahnt der Umstand, daß die direkte Beobachtung von Gesteinstemperaturen auf bedeutend langsamere Wärmezunahme weist, zur Vorsicht; es erscheint daher unzulässig, in der Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 33 m mehr als eine Annäherungszahl sehen zu wollen, die möglicherweise noch gründlich modifiziert werden wird. Wir müssen eingestehen, daß wir von einem halbwegs sichern Resultate noch sehr weit entfernt sind.

Diese geringe Kenntnis der Temperaturverhältnisse im Erdinnern und die schwache Aussicht auf baldige Vermehrung unsers Wissens in dieser Richtung sind sehr zu bedauern, da es sich hier um eine Frage handelt, die theoretisch wie praktisch von hoher Wichtigkeit ist. In immer größere Tiefen dringen die Schächte der Bergwerke, um Kohlen und Metalle an die Oberfläche zu schaffen; immer weitere Strecken des Gebirges werden von Eisenbahntunnels durchbohrt, und es drängt sich die Frage auf, wo die Grenze sei, an der **eine dem menschlichen Organismus die Arbeit verbietende Hitze** eintritt. Weitaus die reichste Gold- und Silbermine der Welt ist der Comstockgang im Staate Nevada, nahe an der kalifornischen Grenze, der in den Jahren 1860—76 Gold und Silber im Werte von 237 Millionen Doll. geliefert hat.



Temperaturverteilung im Gotthardtunnel (nach Stapff). Vgl. Text, S. 128.

Aber trotz der ungeheuern Menge und des fabelhaften Reichtumes der Erze fürchtet man den weitern Betrieb aufgeben zu müssen, da die Hitze stellenweise so groß ist, daß sie dem Bergbaue enorme Schwierigkeiten entgegensetzt. Die Arbeiter bewegen sich in einer Temperatur von 42,2 bis 46,7°, die nur dadurch erträglich wird, daß die Luft trocken ist, und daß mit den heißen relativ kühlere Strecken abwechseln; trotzdem ist an den warmen Orten die Arbeitsdauer für einen Mann auf nur 10 Minuten festgesetzt. Man hatte auch versucht, in Strecken von mehr als 50° C. arbeiten zu lassen, mußte aber das Unternehmen aufgeben, da Geisteszerrüttung oder rascher Tod bei den Arbeitern die Folge der Anstrengung in dieser furchtbaren Temperatur war. Überhaupt ist die Menge der Todesfälle unter den Bergleuten in heißen Gruben eine wahrhaft erschreckende und ungeheuer die Zahl der Opfer, welche die Goldgier dem Verderben in der schwülen Atmosphäre entgegentreibt[1].

Allerdings ist es in den Bergwerken des Comstockganges in Nevada weniger die große Tiefe als die Ungunst spezieller lokaler Verhältnisse, namentlich das Auftreten von warmen Quellen, welche die außerordentliche Hitze bedingen, während z. B. in den tiefen Přibramer Schächten sehr gemäßigte Temperatur herrscht. Aber auch bei andern montanistischen Unternehmungen kommt die Frage der Wärmezunahme nach der Tiefe sehr in Betracht. Im Jahre 1863 machte Sir William Armstrong in der Versammlung der britischen Naturforscher darauf aufmerksam, daß bei der kolossalen Ausbeutung, welche in den englischen Kohlenfeldern stattfindet, in nicht allzu ferner Zukunft der Zeitpunkt der Erschöpfung eintreten könnte. Seine Warnung veranlaßte die Bildung eines „königlichen Komitees" zur Prüfung der Frage, welches zwar die Sache nach genauer Untersuchung nicht so bedenklich fand, wie Armstrong geglaubt hatte, doch aber zu der Überzeugung kam, daß die Nachhaltigkeit der englischen Kohlenproduktion in einigen Jahrhunderten sehr wesentlich abhängig sein werde von der Temperatur, bei welcher in der Tiefe noch eine Gewinnung des fossilen Brennstoffes möglich sein würde. In der That haben manche der englischen Kohlenwerke schon recht beträchtliche Wärme; in der Rosebridgegrube z. B., die 1875 unter allen englischen Bauen die größte Tiefe, nämlich 745 m, erreicht hatte, betrug die Gesteinswärme 34,5° C.

Von besonderer Bedeutung ist eben jetzt die Frage der Temperaturzunahme für die projektierte Simplonbahn, welche den Kanton Wallis mit dem Lago Maggiore verbinden soll. Von der in einem weit sanftern Teile der Alpen gelegenen Semmeringlinie abgesehen, ließ man die großen Alpenbahnen, diejenigen über den Brenner, den Gotthard und über den Mont Cenis, zu sehr beträchtlichen Höhen ansteigen, um dem Haupttunnel keine allzu große Länge geben zu müssen oder die Durchfahrung der Hauptwasserscheide mit einem solchen ganz vermeiden zu können (Brennerbahn). Der höchste Punkt der Brennerbahn liegt 1367 m, das Südportal des Gotthardtunnels 1145 m, das Südportal des Mont Cenis-Tunnels 1291 m ü. M. Wenn aber eine derartige Anlage den Bau vereinfacht, so bringt sie dagegen große Nachteile für den Betrieb; einerseits muß jeder Zug bis zu sehr bedeutender Höhe ansteigen, was eine namhafte Verteuerung des Transportes bedingt, anderseits erschweren die Strenge des Winters und der Fall riesiger Schneemassen in diesen Hochregionen den Betrieb in hohem Grade und bringen sogar zeitweilige Unterbrechungen desselben mit sich. Man ist zur Überzeugung gelangt, daß

---

[1] Welch fürchterlichen Einfluß auf die Gesundheit derartige Arbeiten auch bei weit geringerer Hitze unter gewissen Umständen ausüben, wird durch die Thatsache illustriert, daß für die Bohrung des Gotthardtunnels keiner der Bohrarbeiter zu haben war, die im Mont Cenis-Tunnel auf der Modaneser Seite beschäftigt gewesen waren, weil sie fast alle an Lungenleiden gestorben waren.

eine Vermeidung dieser Übelstände für eine Alpenbahn von so großem Nutzen wäre, daß der letztere selbst eine sehr bedeutende Verteurung des Tunnelbaues aufwiegen würde. Bei dem Entwurfe des Baues einer Bahn durch den Simplon will man daher den großen Tunnel sehr tief legen und hofft dadurch dieser Linie so günstige Betriebsverhältnisse zu schaffen, daß sie alle ihre Konkurrentinnen zu schlagen und den ganzen Verkehr von England, Frankreich, Belgien und der Westschweiz nach Italien an sich zu reißen im stande sein werde. Um diesen Zweck zu erreichen, sind einige Projekte ausgearbeitet worden, von welchen die wichtigsten folgende Verhältnisse zeigen:

Tunnellänge	a) 19,075 m	b) 18,504 m	c) 16,150 m
Höhe des Südportales über dem Meere	687,5 m	687,5 m	790 m
Höhe des Nordportales	680 m	711 m	771 m

Diese Tunnels führen unter gewaltigen, hohen Bergen durch. Nach dem Projekte a) würde der Tunnel unter dem 3270 m hohen Wasenhorn und dem 3565 m hohen Monte Leone durchgehen, so daß durchschnittlich 2220 m Gebirge über ihm zu liegen kämen. Im Projekte b) würde die Bergeshöhe sogar 2247 m betragen[1]. Aus diesen Daten hat nun der Ingenieur Stapff, welcher die geologischen Beobachtungen beim Baue des Gotthardtunnels in trefflicher Weise durchgeführt hat, unter Zugrundelegung der hier gemachten Beobachtungen die mutmaßlichen Temperaturen für den Simplontunnel berechnet und zwar die Gesteinswärme in der Mitte der Strecke für das Projekt a) zu 46,9° C., für b) zu 47,5° C.; die Luft vor Ort würde beim Bohren 45,8°, beim Schuttabräumen 48,4° zeigen, während die zusitzenden Wasser, abgesehen von dem Falle des Auftretens einer Therme, auf 53,3° geschätzt werden.

Es entsteht nun die Frage, ob es noch möglich sein wird, unter solchen Verhältnissen zu arbeiten. Die Bluttemperatur des Menschen beträgt 37°; 40° ist schon starke Fieberhitze, und der Tod tritt z. B. bei Typhus ein, wenn 42° erreicht werden. Es darf demnach eine so bedeutende Steigerung der Blutwärme nicht vorkommen. Im ganzen kann man annehmen, daß in trockner Luft Arbeiten noch bei 50° zulässig sind, da hier das Verdunsten des Schweißes eine Abkühlung der Haut mit sich bringt, während in feuchter Luft schon bei 40° die Grenze liegen würde. Nach diesen Voraussetzungen wäre demnach eine Ausführung der beiden ersten Projekte unmöglich, während das Projekt c), für das allerdings noch keine ganz genauen Daten vorliegen, vermutlich gerade an der äußersten Grenze der Durchführbarkeit läge. Die Zulässigkeit dieser Annahmen ist von den Vertretern der tiefen Simplontracen energisch bestritten worden, doch dürfte kaum ein Zweifel erlaubt sein, daß die Erfahrungen am Gotthard insofern richtig auf den Simplon übertragen sind, als, gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, die berechneten Temperaturen in hohem Grade wahrscheinlich sind. Wir wissen jedoch, daß oft einander sehr nahe gelegene und sehr ähnlich erscheinende Punkte ganz verschiedene Wärmezunahmen zeigen. Es ist daher durchaus nicht sicher, daß die Verhältnisse an beiden Orten die gleichen, die geothermische Tiefenstufe dieselbe sei; ob aber eine mutmaßliche Abweichung für die Simplonstrecke günstig oder ungünstig sein, ob hier die Temperatur schneller oder langsamer anwachsen werde als am Gotthard, das zu entscheiden, haben wir auch nicht den geringsten Anhaltspunkt, und es ist daher das Unternehmen einer Tunnelanlage in der Tiefe jedenfalls ein gewagtes. Die Frage, ob und inwieweit durch künstliche Abkühlung den Schwierigkeiten abgeholfen werden könne, fällt nicht in den Bereich der Geologie, und wir werden uns daher nicht weiter damit befassen[2]. Wissenschaftlich

[1] Für das Projekt c) liegen keine genauen Profile des überliegenden Gebirges vor.

[2] Ein neueres Projekt bietet nach einem Berichte von Heim, Lory, Renevier und Taramelli günstigere Verhältnisse; der Tunnel, welcher 20,000 m Länge erhalten soll, wird voraussichtlich nirgends mehr als 35° Wärme haben.

wäre jedenfalls die Anlage eines tief liegenden Tunnels sehr interessant, und vielleicht wird sehr bald eine praktische Entscheidung erfolgen, wenn die möglichen Hindernisse nicht von der Unternehmung zurückschrecken.

So groß in diesen und in ähnlichen Fällen die praktische Wichtigkeit einer genauen Kenntnis der innern Erdwärme ist, so ist doch die theoretische Bedeutung der Frage eine ungleich höhere; mit ihr steht eine Reihe der interessantesten Probleme im allerinnigsten Zusammenhange, so daß wir uns wohl etwas eingehender mit diesem Gegenstande befassen müssen. In erster Linie handelt es sich darum, die Ursachen und Quellen der Temperaturzunahme in der Tiefe zu untersuchen. Sehr verschiedene Ansichten sind in dieser Richtung ausgesprochen worden; die Wirkung chemischer Vorgänge, Umsetzung mechanischer Kräfte in Wärme, Durchgang des ganzen Sonnensystemes durch heißere Teile des Weltraumes, endlich die ursprüngliche Hitze, welche die Erde bei ihrer Lostrennung von der Sonne nach der Kantschen Theorie besessen haben muß, werden zur Erklärung herbeigezogen.

Wie wir früher gesehen haben, befinden sich alle Fixsterne und Planeten entweder noch in einem Zustande sehr hoher Temperatur, oder befanden sich früher in einem solchen und haben ihre Hitze durch Abkühlung verloren, und wichtige Gründe sprechen dafür, daß die Erde ebenfalls denselben Entwickelungsgang durchgemacht habe; es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die Wärmezunahme nach der Tiefe auf die Hitze, welche die Erde bei der Lostrennung von der Sonne gehabt hat, zurückzuführen sei. Diese Ansicht ist jetzt auch fast von allen Geologen adoptiert, und die Allgemeinheit der Erscheinung sowie die außerordentliche Höhe der Temperatur, welche namentlich durch die Vulkane bewiesen wird, bilden entscheidende Beleggründe für diese Annahme, da keiner der andern Erklärungsversuche sich als hinlänglich erweist. Wir kennen keinen chemischen Prozeß, der in solcher Ausdehnung und Intensität auf der Erde vor sich ginge, daß ihm die Steigerung der Temperatur nach der Tiefe und die Schmelzung der ungeheuern Massen eruptiver Gesteine zugeschrieben werden könnte. Ähnlich verhält es sich mit der Umsetzung mechanischer Kräfte in Wärme; es könnte hierbei nur an die Gebirgsbildung gedacht werden, allein dann müßten z. B. fundamentale Verschiedenheiten zwischen den geothermischen Verhältnissen junger Kettengebirge, wie der Alpen, und jenen der ungestörten Ebenen vorhanden sein, was thatsächlich nicht der Fall ist, ganz abgesehen davon, daß diese Quellen für so bedeutende Wärmemengen nicht im entferntesten zureichend wären. Auf die Hypothese, daß der Durchgang der Erde und des ganzen Sonnensystemes durch eine wärmere Region des Raumes als Ursache der in Rede stehenden Erscheinung zu betrachten sei, brauchen wir nicht näher einzugehen; sie dürfte jetzt kaum noch Anhänger besitzen.

Allerdings hat man auch nachzuweisen versucht, daß die Verteilung der geothermischen Tiefenstufen mit der Annahme einer allmählichen Abkühlung aus glutflüssigem Zustande unvereinbar sei. Um jedoch über diesen Gegenstand klar zu werden, müssen wir uns erst mit den Verhältnissen einer heißen, sich abkühlenden Masse befassen. Die Hauptfrage ist hierbei, ob die geothermischen Stufen nach innen wachsen oder abnehmen, ob dieselben, wenn wir sie z. B. an der Oberfläche mit 33 m für 1° C. annehmen, in größerer Tiefe 34, später 35 m und so fort betragen, die Wärmezunahme also sich verlangsamen oder das Gegenteil stattfinden müsse. Einige Überlegung zeigt, daß hier kein Zweifel stattfinden kann; ein heißer Körper, der sich in einem kältern Medium befindet, kühlt sich ab, er gibt an dieses Wärme ab, und natürlich muß dieser Vorgang an der äußern Grenze des heißen Körpers am intensivsten sein, während die Wärmeabgabe um so geringer wird, je weiter man in das Innere eintritt. Es werden also die Temperaturdifferenzen in der äußersten Schale des heißen Körpers am größten sein, weiter nach innen dagegen immer kleiner

werden, mit andern Worten: die Wärmezunahme wird sich nach innen verlangsamen; bei der Erde müssen mithin die geothermischen Stufen nach der Tiefe zunehmen.

Dieses Resultat, welches auch die Rechnung bestätigt, wurde von G. Bischof in Bonn experimentell geprüft, indem er große Kugeln von geschmolzenem Basalte sich abkühlen ließ; es wurden nach der Erstarrung Löcher in dieselben gebohrt und Thermometer eingeführt, die eine Beobachtung des Abkühlungsgesetzes ermöglichten. In einer Kugel von $27\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser ergaben sich 48 Stunden nach dem Gusse folgende Resultate:

Temperatur im Mittelpunkte	191,9° C.	Temperatur $6\frac{3}{4}$ Zoll vom Mittelpunkte	156,1° C.
„ $4\frac{1}{2}$ Zoll vom Mittelpunkte	170,0° „	„ 9 „ „ „	137,2° „

Es geht daraus unzweifelhaft hervor, daß die Temperaturunterschiede nach innen sich verringern, daß die Tiefenstufe nach innen wächst; die Abnahme vom Mittelpunkte bis $4\frac{1}{2}$ Zoll von demselben beträgt 21,9°, auf der gleichgroßen Strecke von da bis zu 9 Zoll vom Mittelpunkte 32,8°.

Die Frage, ob die Temperaturzunahmen, die man beim Eindringen in die Tiefe der Erde beobachtet, mit den theoretischen Voraussetzungen übereinstimmen, hat zu sehr vielen Diskussionen Anlaß gegeben, bis man endlich zu der Überzeugung gekommen ist, daß die vorliegenden Daten absolut unzulänglich sind, eine Einsicht, der zum Durchbruche verholfen zu haben, das Verdienst von J. Hann in Wien ist. Nicht nur erschwert wird eine Entscheidung durch die Ungleichheit der Beobachtungsresultate an den verschiedensten Punkten und durch das Vorhandensein von Unregelmäßigkeiten, selbst bei den besten unter ihnen, sondern direkt unmöglich wird sie dadurch gemacht, daß auch die größten Tiefen, welche der Mensch erreicht hat, im Verhältnisse zum Durchmesser der Erde eine verschwindende Größe bilden. W. Thomson hat berechnet, daß, wenn seit Beginn der Abkühlung der Erde 100 Millionen Jahre vergangen sind, eine Steigerung der Tiefenstufe um ein Zehntel ihres Betrages erst ungefähr 40,000 m unter der Oberfläche zu erwarten ist, während man immer noch bis 4000 m zu demselben Zwecke gehen müßte, wenn die Zeit seit Beginn der Abkühlung nur 1 Million Jahre beträgt, was, nebenbei gesagt, eine unmögliche Voraussetzung ist. Wir sehen also, daß nach den vorliegenden Daten eine Änderung der Tiefenstufen in unsern Bergwerken und Bohrungen noch gar nicht erwartet werden kann.

Die Tiefe des großen Sperenberger Bohrloches mit 1272 m beträgt ungefähr $\frac{1}{5000}$ des Erdhalbmessers; dasselbe ist folglich einem winzigen, $\frac{1}{10}$ mm tiefen Stiche zu vergleichen, den man auf der Oberfläche eines 1 m großen Globus mit einer Nadel angebracht hat. Es ist also offenbar unmöglich, aus so beschränkten Erfahrungen das Gesetz der Wärmezunahme nach dem Erdinnern empirisch festzustellen. Der Versuch zu einer solchen Vornahme würde genau dieselbe Berechtigung haben, als wenn man die Gesetze der Abnahme des Luftdruckes und der Temperatur in höhern Teilen der Atmosphäre bis zu ihrer äußersten Grenze daraus ableiten wollte, daß man Thermometer- und Barometerbeobachtungen zuerst auf ebenem Boden und dann auf der Galerie eines Turmes von 22 m Höhe anstellt. Vorläufig können wir keinerlei sichere Schlüsse aus den geothermischen Beobachtungen ableiten, und es ist auch sehr unwahrscheinlich, daß die Fortschritte der Technik in den nächsten Jahrhunderten die Menschen befähigen werden, Schächte und Bohrlöcher von etwa 10 Meilen Tiefe abzusenken, wo zwar eine Entscheidung möglich wäre, aber auch eine Temperatur herrschen muß, die nach mehreren Tausenden von Graden zählt.

Wenn die Wärme in der Tiefe wirklich einen Rest von der Abkühlung des ursprünglich glühenden Balles darstellt, so wird es unter gewissen Voraussetzungen möglich sein, an die Temperatursteigerung nach abwärts Folgerungen in Beziehung auf das Alter der Erde anzuknüpfen. Der Versuch zu einer solchen Berechnung wurde von dem ausgezeichneten Physiker William Thomson gemacht, wobei sich annähernde Zeitbestimmungen ergaben,

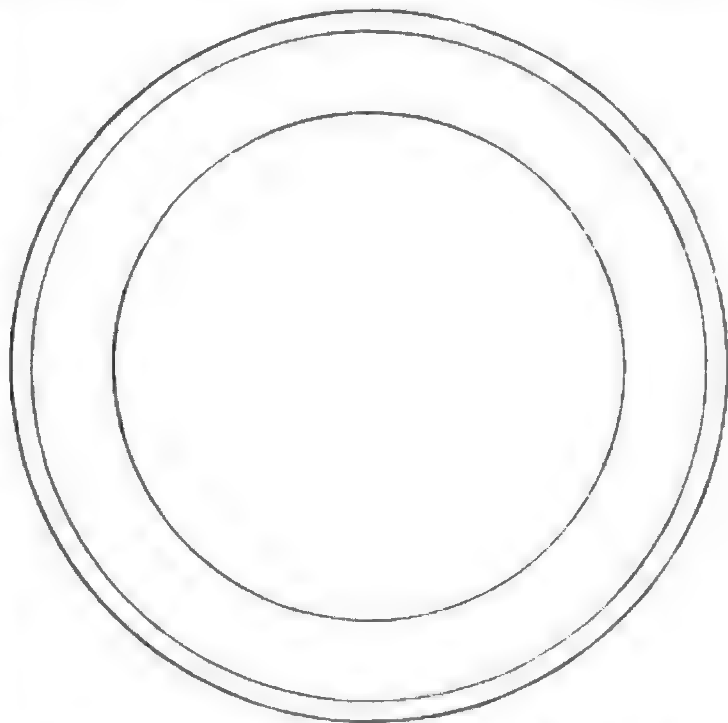
die allerdings wegen der Unsicherheit der Daten innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken. Die Größen, auf welche die Rechnung sich stützt, sind die Temperatur, bei welcher die Erstarrung der Erde begann, die Wärmeleitungsfähigkeit der Gesteine und endlich die geothermische Tiefenstufe. Da keine dieser Größen genau bekannt ist, so nahm Thomson für jeden dieser Faktoren in einer Rechnung einen sehr hohen, in einer andern einen sehr niedern und in einer dritten einen mittlern Wert an und kam zu dem Resultate, daß die seit der Erstarrung der Erde verflossene Zeit nicht weniger als 20 und nicht mehr als 400 Millionen Jahre betragen könne; als wahrscheinlich wird ein mittlerer, zwischen 90 und 200 Millionen Jahren gelegener Wert angenommen.

Von vielen Seiten wird auf diese Schätzungen ein sehr großes Gewicht gelegt; es wäre von der höchsten Bedeutung, eine absolute Zeitbestimmung in der Geschichte der Erde zu haben, und es ist darum begreiflich, daß diese von einer solchen Autorität geäußerte Ansicht eine Menge von Anhängern fand. Allein die mathematische Behandlung sichert die Ableitung richtiger Resultate nur dann, wenn die ihr zu Grunde liegenden Daten richtig und ausreichend sind; über die Mangelhaftigkeit dieser kann sie nicht hinaushelfen. Die Berechnung Thomsons wird natürlich nur Anspruch auf allgemeine Anerkennung machen dürfen, wenn die drei berücksichtigten Faktoren richtig geschätzt sind, und wenn außer ihnen kein wesentlicher Faktor vorhanden ist, welcher nicht in Anschlag gebracht wurde. Das erstere mag vielleicht zugegeben werden, in letzterer Beziehung enthalten dagegen die Voraussetzungen wesentliche Lücken und Unrichtigkeiten. Wir haben bei der Frage nach der Abkühlung der Sonne gesehen, daß die letztere durch ihre Zusammenziehung fortwährend Wärme entwickelt, und daß daraus eine Kompensation für den Verlust durch Strahlung erhellt; dasselbe gilt auch für die Erde, auch sie ist seit dem Beginne der Abkühlung in fortwährender Zusammenziehung begriffen, es muß dadurch Wärme frei werden und der Prozeß der Erkaltung sich wesentlich verzögern. Wie groß der Einfluß, wie groß die Einwirkung dieses Vorganges ist, wissen wir nicht; jedenfalls aber kann eine Rechnung, welche denselben nicht berücksichtigt, nicht richtig sein, so daß wahrscheinlich die von W. Thomson berechneten Zahlen für das Alter der Erde viel zu gering sind.

Merkwürdigerweise ist aber außerdem bei allen bisherigen Berechnungen, Hypothesen und Besprechungen ein in hohem Grade wichtiger Gegenstand vollständig vernachlässigt worden, so daß dieselben auf ganz falscher Grundlage ruhen. Man findet in irgend einer Gegend eine bestimmte Zunahme der Wärme nach der Tiefe und knüpft nun daran stets die verschiedensten Folgerungen unter der Voraussetzung, daß die betreffenden Gesteine ihre jetzige Temperatur unmittelbar durch Abkühlung aus dem ursprünglich schmelzflüssigen Zustande erhalten haben. Diese Annahme ist aber durchaus unrichtig; die Mehrzahl der betreffenden Beobachtungen stammt aus Gesteinen, die nachweisbar sich am Boden des Meeres oder von Binnenseen aus dem Wasser abgelagert haben, während wir ein Gestein, das mit voller Sicherheit als ein Bestandteil der ursprünglichen Erstarrungsrinde der Erde bezeichnet werden könnte, überhaupt nicht kennen. Die höhere Temperatur, die wir in allen Schichtgesteinen in der Tiefe finden, ist also nicht ein unmittelbares Überbleibsel der ursprünglichen Schmelzhitze, sondern sie rührt von einer Erwärmung durch die in weit größerer Tiefe befindlichen ursprünglichen Erstarrungsgesteine her. Es kann hier nicht die Aufgabe sein, die Folgen dieses Verhältnisses zu entwickeln, es mag an dem Hinweise genügen, daß alle Hypothesen und Berechnungen von diesem Standpunkte aus einer vollständigen Revision unterzogen werden müssen.

Die Dicke der Erdkruste.

Es ist sicher, daß die Zunahme der Wärme nach innen keine Erscheinung darstellt, welche ausschließlich nur die alleroberſten Schichten der Erdrinde betrifft, sondern daß diese Steigerung bis zu beträchtlichen Tiefen ziemlich gleichmäßig fortdauert, daß ihre Verlangsamung eine sehr allmähliche ist; bis zu welchem Punkte und zu welchem Grade diese Zunahme sich erstreckt, wissen wir nicht, jedenfalls aber muß in einer Entfernung von der Oberfläche, die im Vergleiche mit dem Durchmesser unsers Planeten außerordentlich klein ist, überaus große Hitze herrschen. Nehmen wir die geothermische Tiefenstufe zu 33 m an, so erhalten wir schon bei 66 km oder nicht ganz 9 Meilen Tiefe eine Temperatur von 2000°, die wenigstens unter den Verhältnissen, wie sie am Tage herrschen, zur Schmelzung fast aller unsrer Gesteine hinreichen würde. Dürfen wir daraus wirklich den Schluß ziehen, daß im Innern der Erde sich eine glutflüssige Masse befinde? Und wie weit ist es zu ihr hinab? Diese Fragen drängen sich uns auf, sie gehören zu den wichtigsten, aber auch zu den schwierigsten im ganzen Gebiete der Geologie, und ihre Lösung beschäftigt die Wissenschaft schon seit längerer Zeit, ohne daß eine endgültige Antwort heute möglich wäre.


Schematischer Durchschnitt der Erde. Vgl. Text, S. 136.

Schon Descartes und Leibniz nahmen das Vorhandensein eines feurig-flüssigen Erdkernes an, vor allen aber waren es Laplace, Fourier und Cordier, welche diese Hypothese wissenschaftlich begründeten; die Zunahme der Temperatur nach unten und das Auftreten heißer Quellen dienen zu ihrer Bestätigung, namentlich aber liefern die Laven, die von den Vulkanen in den verschiedensten Gegenden ausströmen, für das Vorhandensein geschmolzener Massen im Innern einen direkten Beweis. Überdies kommen vollständig miteinander übereinstimmende Laven an den verschiedensten Punkten der Erde vor, so daß man für dieselben einen gemeinsamen Ursprung aus einer großen zentralen Masse annimmt und somit der Erklärung der vulkanischen Erscheinungen durch lokale Vorgänge einen gewichtigen Einwurf entgegenstellt. Auch die Abplattung der Erde wurde angeführt, die nur bei einem ursprünglich flüssigen Zustande der Erde eintreten konnte; ein ursprünglich starrer Körper hätte nicht die Gestalt annehmen können, welche nach den Gesetzen der Mechanik einem rotierenden flüssigen Körper zukommt.

Diese Gründe machten die Annahme eines feurig-flüssigen Erdinnern zu einer ganz allgemeinen, und auch heute ist jedenfalls die Ansicht sehr verbreitet, daß diese Hypothese die meiste Wahrscheinlichkeit für sich habe. Dagegen sind die Ansichten über die Dicke der festen Kruste sehr geteilt; manche glaubten, daß schon in einer Tiefe von 2½ oder doch wenigstens von 5 bis 6 Meilen die geschmolzenen Massen beginnen, während andre und wohl sehr mit Recht der Ansicht waren, daß bei so geringem Durchmesser die solide Rinde

nicht die nötige Stabilität besitzen könne. In der That dürfte kaum mehr ein Geolog zu finden sein, der an diesen niedrigen Zahlen festhielte; namentlich A. v. Humboldt und Cordier sprachen sich gegen eine solche Vermutung aus und nahmen höhere Werte für die Dicke der Erstarrungskruste an. In runder Summe schlug man diese zu 20 geographischen Meilen an, eine Ziffer, welche sehr vielfach adoptiert wurde und noch wird. Allein auch diese Annahme ergibt noch ein großes Mißverhältnis zwischen der soliden Schale und dem flüssigen Inhalte: erstere würde an einem Globus von 1 m Durchmesser nur etwa 23 mm betragen. Zur Versinnlichung dieses Verhältnisses dient die Abbildung auf S. 135. Der äußerste Kreis bezeichnet den Umfang der Erde, dann würde dem Verhältnisse nach die einsäumende Linie die Dicke einer Erdkruste von 6 geogr. Meilen, der Raum zwischen dem äußern und dem zweiten Kreise eine Kruste von 55, zwischen dem äußersten und innersten Kreise eine solche von 250 Meilen darstellen.

Einen sehr wesentlichen Einwand hiergegen erhob namentlich Hopkins: bei der Anziehung, welche die Erde durch den Mond erleidet, bemerkt man, daß die Wirkung unsers Trabanten eine Störung in dem Fortschreiten der Erde in ihrer Bahn hervorruft, die in einer eigentümlichen, von den Astronomen mit dem Namen der Präzession und Nutation bezeichneten Bewegung der Erdachse besteht, welche ihrerseits durch die Einwirkung des Mondes auf die äquatoriale Anschwellung unsers Planeten erzeugt wird. Hopkins hat nun gezeigt, daß diese Erscheinungen der Präzession und Nutation in andrer Weise auftreten müssen, je nachdem die Erde als ganz fest oder als flüssig mit einer dünnen Kruste gedacht oder als sehr dickkrustig mit verhältnismäßig kleinem Kerne angenommen wird. Seine Rechnung ergab, daß die Erscheinungen, wie wir sie beobachten, der Annahme entsprechen, daß die Erde ganz starr sei, oder daß ihre Kruste mindestens $^1/_4 - ^1/_5$ des Radius betrage, also bis zu 170—215 geogr. Meilen in die Tiefe reiche. Es wurde dem allerdings entgegnet, daß die Berechnungen von Hopkins insofern auf unrichtiger Basis beruhen, als die geschmolzene Masse im Innern keine absolute Flüssigkeit ist, sondern eine zähe, visköse Konsistenz besitzen muß, und daß er außerdem die Reibung an der Fläche unberücksichtigt ließ, an welcher die feste Kruste und der geschmolzene Kern sich berühren. Trotzdem aber bleibt richtig, daß eine vollständig starre Erde den theoretischen Voraussetzungen ganz entspricht, während bei einer sehr dünnen, nur wenige Meilen in der Dicke messenden Rinde dies nicht der Fall ist.

W. Thomson, dem wir so viele Versuche, sich der Lösung geologischer Probleme durch Rechnung zu nähern, verdanken, hat auch diese Frage in Erwägung gezogen. Mond und Sonne erzeugen bekanntlich durch ihre Anziehung auf das Wasser des Meeres Ebbe und Flut, die Erscheinung der Gezeiten; allein beide ziehen auch die ganze Masse der Erde an, und wäre diese wirklich in der Hauptsache flüssig und nur mit einer dünnen Kruste festen Gesteines überzogen, so müßten auch an dieser selbst die Erscheinungen der Gezeiten auftreten. Dies ist aber nicht oder doch nur in so geringem Maße der Fall, daß Thomson daraus schließen konnte, der Erdkörper müsse als Ganzes eine Starrheit besitzen, welche zwischen derjenigen von Glas und Stahl in der Mitte steht. Es mögen einzelne der Voraussetzungen bei diesen Rechnungen nicht ganz sicher sein, und besonders hat Siemens gezeigt, daß die Verzögerung der Flutwelle in dem zähflüssigen Erdinnern nicht berücksichtigt ist; so viel geht aber mit Bestimmtheit aus denselben hervor, daß die geschmolzenen Massen jedenfalls erst in großer Tiefe auftreten können.

Von andrer Seite ist die Hypothese aufgestellt worden, daß die Erde einst in geschmolzenem Zustande gewesen sei, daß auch die Temperatur nach der Tiefe zunehme und eine überaus große Hitze im Innern bestehe, aber ein feurig-flüssiger Kern nicht existiere. Wenn Wasser gefriert, so überzieht es sich an seiner Oberfläche mit Eis, weil dieses etwas leichter

ist als Wasser; allein es ist das keine allgemeine Regel, die meisten Körper ziehen sich beim Starrwerden zusammen, sie sind im festen Zustande dichter als im flüssigen, und die erstarrten Teile sinken daher zu Boden. Wenn nun, wie angenommen wurde, dem wirklich so ist, wenn die Gesteine beim Erstarren dichter, spezifisch schwerer werden, so müssen die erstarrten Partien in der leichtern geschmolzenen Masse untersinken. Anfangs müßten dabei allerdings die festen Teile durch die in der Tiefe noch herrschende Hitze wieder geschmolzen werden, aber allmählich würde die Abkühlung auch nach innen fortschreiten, und dann müßten sich die fest gewordenen Massen im Zentrum sammeln, also die Erstarrung im Zentrum beginnen und nach der Oberfläche fortschreiten, welche demnach zuletzt solid geworden wäre.

So einfach diese Folgerung zu sein scheint, so gibt es doch wieder Thatsachen, welche die Richtigkeit derselben in Frage stellen. Dasjenige Gestein, welches die Geologen häufig unter ihren Augen erstarren gesehen haben, ist die Lava, die sich, wie vielfach angenommen wird, beim Erstarren zusammenzieht und verdichtet; wenn wir jedoch einen Lavastrom beobachten, so sehen wir die erstarrten Schollen nicht von der Oberfläche in die Tiefe niedersinken, sondern eine Decke über dem ganzen Strome bilden, unter der wie in einem Schlauche von Schlacken die noch flüssige Lava sich fortbewegt. Bei dem Ausbruche des Ätna im Jahre 1865 konnte sich Silvestri sogar auf die Schlackenschollen eines noch sichtlich in Bewegung befindlichen Lavastromes stellen, ohne daß dieselben unter seinen Füßen gewichen wären. Der Grund davon ist die außerordentliche Zähigkeit der fließenden Masse, die viel zu groß ist, als daß die doch nur wenig dichtern Schollen in ihr untersinken könnten. Nun bestehen allerdings viele der Ströme, die aus den Vulkanen hervorquellen, nicht aus einer einfachen geschmolzenen Masse, sondern aus einem Gemenge geschmolzener und fester Teile; aber auch da, wo dies nicht der Fall ist, zeigt sich mit überaus seltenen Ausnahmen (bei denen außergewöhnlich hohe Temperatur zu herrschen scheint) eine sehr zähflüssige Konsistenz. Auch als die ganze Erdkugel eine gewaltige geschmolzene Masse bildete, muß ihr Magma, ehe es stellenweise erstarren konnte, sehr zäh und viskös geworden sein, so daß es aus diesem Grunde zweifelhaft erscheint, ob die Schlackenmassen untersinken konnten, wenn sie auch etwas dichter waren als die Flüssigkeit, auf welcher sie schwammen. Übrigens ist die Grundvoraussetzung durchaus noch nicht erwiesen, daß die Gesteine beim Erstarren sich zusammenziehen; nach Experimenten von Mallet und Siemens zeigt z. B. Glas, das mit den in Frage stehenden Felsarten große Verwandtschaft hat, beim Erstarren eine leichte Ausdehnung, es verhält sich also dem Eise ähnlich.

Wo immer wir uns hinwenden, überall treten uns ungelöste Zweifel entgegen, die eine sichere Entscheidung für jetzt noch unmöglich machen. Daß die Erde früher in heißflüssigem Zustande sich befand, daß in ihrem Innern sehr hohe Temperaturen herrschen, dürfen wir als erwiesen annehmen; ob geschmolzene Massen noch im Innern vorhanden sind, oder ob die Erde vollständig starr ist bis zum Mittelpunkte, darüber ein bestimmtes und berechtigtes Urteil auszusprechen, ist unmöglich. Wenn noch feuerflüssige Massen im Zentrum sich befinden, dann ist es im höchsten Grade wahrscheinlich, daß sie von einer sehr dicken, festen Kruste umgeben seien.

Zwei Einwände werden in der Regel gegen diese Auffassung vorgebracht. Der erste stützt sich auf die rasche Zunahme der geothermischen Tiefenstufe, nach welcher schon wenige Meilen unter der Oberfläche der Schmelzpunkt der Gesteine erreicht sein muß; allein man vergißt dabei, daß wir über den Schmelzpunkt und über die Erstarrungstemperatur unter den dort unten herrschenden Verhältnissen soviel wie gar nichts wissen. Wenn unsre Versuche im Laboratorium ergeben, daß Substanzen bei diesem oder jenem Wärmegrade starr werden, so gilt das nur für den Druck von einer Atmosphäre, wie er bei uns an der Oberfläche herrscht; wenn wir aber den Prozeß in jene Tiefe von 66 km hinab versetzen,

in welcher vielleicht eine Temperatur von 2000° herrscht, so repräsentiert dort die auflastende Gesteinsmasse einen Druck von 19,000 Atmosphären, dessen Einfluß auf die Erstarrungstemperatur wir nicht im mindesten bemessen können, und mit jeder Meile, die man nach der Tiefe geht, steigt der Druck noch um weitere 2000 Atmosphären. Berücksichtigt man noch überdies die größere Dichtigkeit des Erdinnern, so gelangt man zu einer Höhe der Pression, die alle unsre Begriffe weit übersteigt. Über den Einfluß hohen Druckes auf Erstarrung und Schmelzung weiß man nicht sehr viel. Es ist bekannt, daß Eis durch Druck geschmolzen werden kann; da jedoch das Wasser beim Gefrieren sich ausdehnt, so liegt die Vermutung nahe, daß auf andre Körper, die sich beim Erstarren zusammenziehen, der Druck die entgegengesetzte Wirkung haben werde. In der That wird diese Voraussetzung durch einige Experimente bestätigt. Bunsen fand z. B., daß Walrat, welches unter gewöhnlichen Verhältnissen bei 47,7° C. fest wird, unter einem Drucke von 141 Atmosphären schon bei 50,5° erstarrt, und ähnliche Erfahrungen wurden auch in mehreren andern Fällen gemacht. Man darf daher annehmen, daß unter hohem Drucke auch die Gesteine schon bei viel höherer Temperatur fest werden, wenn man auch über den Betrag der Einwirkung keine genaue Berechnung anstellen kann. So viel aber steht fest, daß diese Thatsachen genügen, um den erwähnten Einwurf gegen die Dicke der festen Kruste zu entkräften.

Woher aber stammt das geschmolzene Material der Vulkane, wenn die Erde ganz starr ist oder heißflüssige Massen erst in einer Tiefe von vielleicht mehr als 200 Meilen auftreten? Aus dieser Entfernung können sie natürlich nicht in Spalten ans Tageslicht gelangen; sie müßten längst erstarrt sein, ehe sie die Oberfläche erreichen. Dieser Einwurf scheint auf den ersten Blick sehr gewichtig und hat in der That eine Reihe von Erklärungsversuchen hervorgerufen. Man hat die vulkanischen Erscheinungen als das Resultat lokaler chemischer Prozesse darzustellen gesucht, auf in Wärme umgesetzte, ebenso lokale mechanische Vorgänge zurückführen wollen, Annahmen, deren Unhaltbarkeit im folgenden Kapitel nachgewiesen werden soll; auch hat man in geringerer Tiefe das Vorhandensein von Hohlräumen angenommen, die mit geschmolzenen Massen gefüllt sein sollten, ohne daß jedoch ein Grund abzusehen wäre, wie oder warum hier lokal keine Erstarrung eingetreten sein sollte.

Es ist das Verdienst von E. Reyer, diesen Verhältnissen die richtige Deutung gegeben zu haben. Wie oben erwähnt, erstarren die Gesteine in der Tiefe infolge des ungeheuern dort herrschenden Druckes wahrscheinlich bei einer Temperatur, bei welcher sie an der Oberfläche der Erde noch geschmolzen sein müßten; wenn nun dieser Druck vermindert wird, so muß die feste Masse offenbar wieder flüssig werden, ebenso wie das unter hohem Drucke erstarrte Walrat wieder schmilzt, sobald man die Glasröhre öffnet, in der es eingeschmolzen war. Wenn z. B. durch die Bildung einer Spalte, einer in die Tiefe reichenden Verwerfung, von dem unter hohem Drucke erstarrten Gesteinsmagma ein Teil der Pression weggenommen wird, so wird dasselbe schmelzen und durch die Spalte ausbrechen können; wir wissen thatsächlich, daß die Vulkane stets in Gegenden großer Bruchlinien der Oberfläche auftreten.

Hier können wir nicht weiter auf diesen Gegenstand eingehen, der uns später ausführlich beschäftigen wird; es genügt uns vorläufig, zu wissen, daß für das Auftreten der Vulkane eine ausreichende Erklärung vorhanden ist, die mit der Annahme einer sehr dicken Erdkruste, sogar vollständiger Starrheit des Innern unsers Planeten nicht im Widerspruche steht.

II. Dynamische Geologie.

3. Vulkane.

Inhalt: Begriff der dynamischen Geologie. — Der Vesuv. — Vulkanische Auswurfsprodukte. — Erhebungs- und Aufschüttungstheorie. — Die Phlegräischen Felder. — Die übrigen Vulkane Italiens. — Zerstörung der Vulkanberge. — Vulkaninseln im Atlantischen Ozeane. — Europäische (außeritalienische) Vulkane. — Die Vulkane Asiens, Ostafrikas und des Indischen Ozeanes. — Die amerikanischen Vulkane. — Die Vulkane im Stillen Ozeane. — Zahl der Vulkane. — Ursachen und Vorboten vulkanischer Ausbrüche.

Begriff der dynamischen Geologie.

Jedermann weiß, daß die Bildungen der Erdoberfläche, welche uns umgeben, nicht von jeher so gewesen sind, wie wir sie heute sehen, und daß sie nicht so bleiben werden; Festländer und Meeresbecken, Gebirge, Ebenen, Flußläufe bis herab in ihre kleinsten und unbedeutendsten Teile haben sich gebildet, sie alle haben ihre geologische Geschichte hinter sich und gehen weitern Veränderungen entgegen nach denselben großen Gesetzen, welche ihre jetzige Form bedingt haben. Jeder Tag bringt neue Umgestaltungen mit sich, denn unausgesetzt werfen die Vulkane ihre Produkte aus, bewegen sich, Erdbeben erzeugend, Schollen der Erdrinde längs Spalten gegeneinander, tragen die Flüsse feste Teile aus dem Innern der Kontinente ins Meer und lagern sie dort ab. Mit diesen Faktoren wirken noch zahlreiche andre zusammen in dem immer fortdauernden Prozesse der Zerstörung und der Neubildung, dessen Wirkung allerdings meist nicht bedeutend genug ist, um uns schon in kürzester Zeit aufzufallen, ja der langsam genug vorgeht, um bei oberflächlicher Betrachtung den Eindruck der Beständigkeit in allen Hauptzügen unsrer Umgebung hervorzubringen. Aber dadurch, daß während vieler Jahrmillionen Tag für Tag diese allmählich wirkenden Kräfte an der Arbeit sind, häuft sich ihre Wirkung in einer Weise, daß wir ihnen die Bildung der großartigsten Erscheinungen der Erdoberfläche zuschreiben dürfen.

Das Studium der Massenveränderungen bildet eine Hauptaufgabe der Geologie; vor allem aber ist es notwendig, die Kräfte genau kennen zu lernen, welche Neubildung, Umgestaltung und Zerstörung bewirken, die Agenzien, welche thätig sind, und die Gesetze, welchen dieselben folgen. Wir haben dazu mehrfache Wege offen; der sicherste und einfachste besteht darin, die Vorgänge, welche jetzt thätig und unsrer Beobachtung zugänglich sind, zu untersuchen und zu zeigen, welche Ergebnisse eine durch lange Zeiträume fortgesetzte Dauer derselben mit sich bringen muß. Es kann als der wichtigste Charakterzug der neuern geologischen Forschung bezeichnet werden, daß sie diese Methode eingeschlagen hat; als ihr erster Bahnbrecher ist Hoff in seiner „Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche" aufgetreten, und Lyell hat sie in seinen „Principles of geology" zur allgemeinen Anerkennung gebracht.

Allerdings kann es keinem Zweifel unterliegen, daß **Lyell** in der Reaktion gegen die Annahme einer Menge in der Vorzeit stattgehabter gewaltsamer Katastrophen und in der extremen Ausbildung des „Uniformitarismus" über das Ziel hinausgeschossen hat. Wir können ihm mit voller Billigung zustimmen, wenn er gegen die plötzliche Auftürmung der Gebirgsketten, gegen die momentane Entstehung der vulkanischen Berge durch eine blasenförmige Auftreibung des Bodens spricht, wenn er die Theorie von gewaltigen Überflutungen, dem vorwiegenden Einflusse der innern Erdwärme auf die Klimate und eine Reihe ähnlicher Abenteuerlichkeiten ablehnt, und wenn er der *Anhäufung kleiner Wirkungen das Zustandekommen der großartigsten geologischen Phänomene* zuschreibt. In all diesen Fällen erklärt die Annahme einer gleichförmigen und langsamen Entwickelung die Erscheinungen gut und einfach, während die entgegengesetzte Hypothese zu unnatürlichen Voraussetzungen führt und mit den Gesetzen der Chemie und Physik im Widerspruche steht. Der Punkt jedoch, in welchem wir uns von **Lyell** zu entfernen gezwungen sind, liegt darin, daß wir diese Gleichmäßigkeit nicht unbedingt und überall voraussetzen, namentlich nicht für die ältesten Zustände unsers Planeten. In einem frühern Abschnitte haben wir gesehen, daß das Steigen der Temperatur nach dem Erdinnern, das Auftreten der Vulkane, vor allem aber der Vergleich mit den übrigen Himmelskörpern zu der Annahme führen, daß die Erde ursprünglich in geschmolzenem Zustande war und erst allmählich erstarrt ist; wir werden ferner folgern müssen, daß bei diesem allmählichen Festwerden manche Erscheinungen an der Oberfläche an Intensität gewonnen, andre verloren haben. Allerdings kommen wir damit auf so entlegene Zeiträume und auf so überaus langsame Änderungen in dem Grade der wirksamen Kräfte, daß die Unterschiede in dieser Beziehung, welche seit der kambrischen Zeit eingetreten sind, unbedeutend bleiben. Im Prinzipe aber muß deren Stattfinden zugegeben werden, und hierin müssen wir von **Lyell** abweichen, der selbst den ursprünglich geschmolzenen Zustand der Erde zu verneinen geneigt ist.

So wichtig aber auch in prinzipieller Beziehung dieser Unterschied der Auffassung ist, so gering sind die Abweichungen, welche dadurch thatsächlich in der Beurteilung der einzelnen Fälle bedingt werden. Hier stehen wir der Hauptsache nach auf dem von **Hoff** und **Lyell** geschaffenen Boden, und die Untersuchung der jetzt vor sich gehenden Veränderungen geben den wichtigsten Anhaltspunkt für die Erklärung der geologischen Erscheinungen. Aber allerdings reicht diese Methode nicht in allen Fällen aus; manche Vorgänge sind so langsam und allmählich in ihrer Wirkung, daß weder die kurze Spanne eines Menschenlebens noch die wenigen Jahrhunderte, aus welchen Beobachtungen vorliegen, zu deren Wahrnehmung hinreichen; andre Faktoren sind in einer Tiefe wirksam, in die wir nicht hinabzudringen vermögen, und bleiben dem Auge des Menschen wohl für immer unzugänglich. Hier können wir nur aus den fertigen Erscheinungen, wie sie uns aus der geologischen Vorzeit entgegentreten, unsre Schlüsse ableiten. Wo endlich auch dies nicht zum Ziele führt, sind wir auf eine Kombination des wahrscheinlichsten Vorganges nach Analogien und aus den allgemein gültigen physikalischen und chemischen Gesetzen angewiesen. Wir müssen in einzelnen Fällen den deduktiven Weg betreten, aber es ist dabei unerläßlich, sich stets daran zu erinnern, daß wir damit die eigentlich naturwissenschaftlichen Methoden der Induktion verlassen, und daß unsre Schlüsse unsicher sind und um so unsicherer werden, je weiter wir die Reihe solcher Folgerungen ausdehnen.

Der Zweig der Geologie, welcher die Gesetze der Massenveränderung und die dabei wirksamen Kräfte untersucht, wird als die *dynamische Geologie* bezeichnet. Wenn wir die Gesamtheit aller derjenigen Kräfte überblicken, welche auf die Gestaltung der Erde einwirken, so sehen wir sofort, daß dieselben in zwei Gruppen zerfallen, in solche, welche ihren

Sitz und Ursprung in der Erde selbst haben, und in solche, welche eine Einwirkung von außen, von fremden Himmelskörpern, vor allen von Sonne und Mond, darstellen; wir sehen tellurische und siderische (tellus, der Erdboden; sidus, das Gestirn) Kräfte in Thätigkeit. Die Wärme der Sonne veranlaßt die Verdampfung von Wasser, dessen Niederfall als Regen oder Schnee, die Zirkulation der Gewässer in Quellen, Flüssen und Meeresströmungen; ihr verdanken wir den Wechsel von Frost und Hitze, die Bewegung der Atmosphäre, die Vegetation und das tierische Leben, die in so tiefgreifender Weise als Faktoren geologischer Veränderung hervortreten; der Mond in Verbindung mit der Sonne bewirkt den Wechsel von Ebbe und Flut im Meere. Wenn wir die Thätigkeit dieser verschiedenen Agenzien ins Auge fassen und ihre Wirkung untersuchen, so finden wir sie der Hauptsache nach darin bestehend, daß an relativ höher gelegenen Punkten der Erdoberfläche fertige Gebilde zerstört und ihr Material den tiefern Regionen: Thälern, Niederungen, dem Meere, zugeführt und hier wieder abgelagert werden.

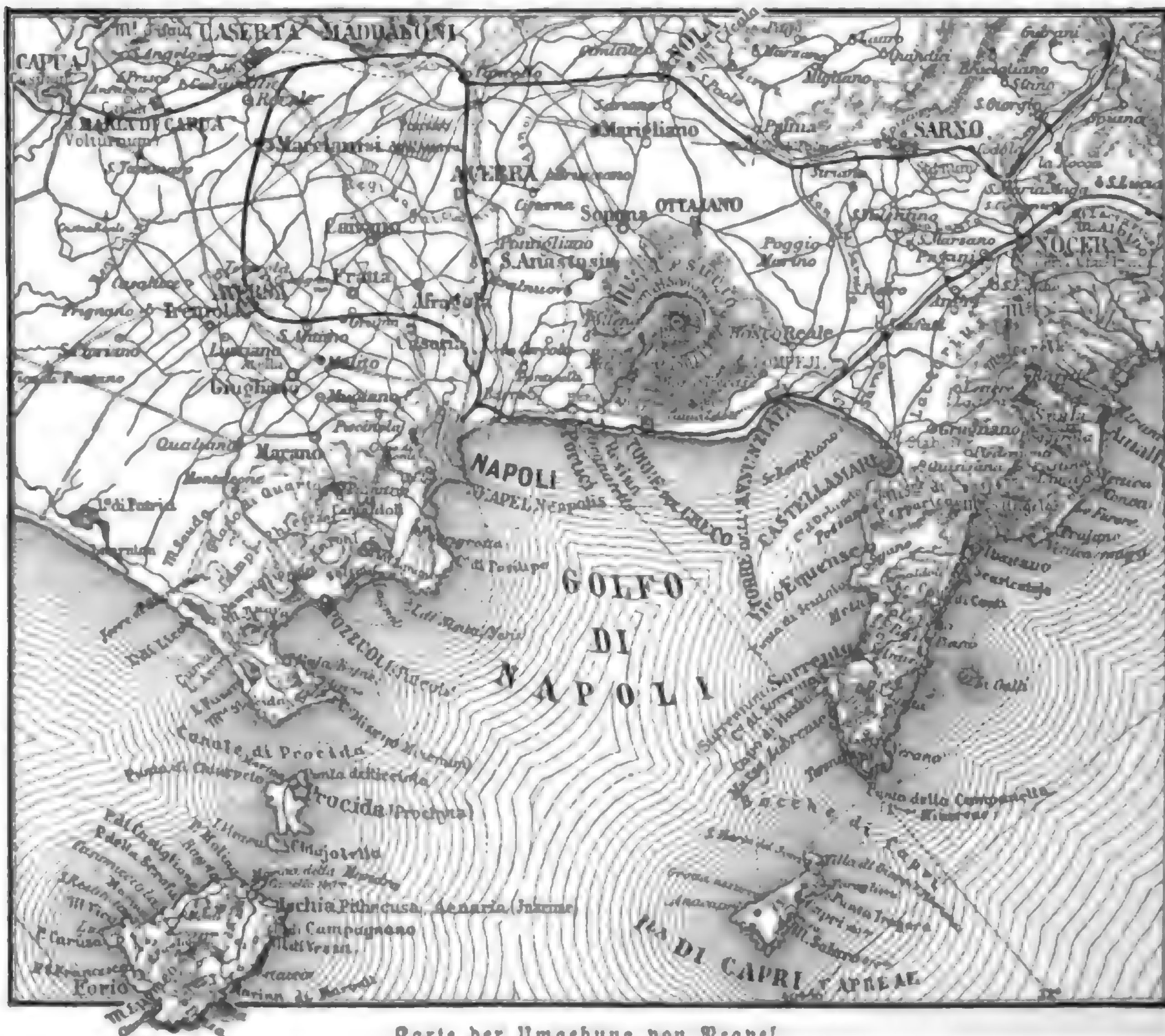
Ganz anders die tellurischen Kräfte; hier treten uns entgegen der Vulkanismus, die Erdbeben, Gebirgsbildung im weitesten Sinne, lauter Erscheinungen, die wir weder auf die Wärme der Sonne noch auf die Anziehung benachbarter Gestirne zurückführen können und daher mit Vorgängen im Innern unsers Planeten in Verbindung bringen müssen. Hier begegnen wir ganz andern Ergebnissen: der Vulkanismus häuft gewaltige Bergkegel an und bringt aus der Tiefe Lava, Felsblöcke, Asche empor, welche sich an der Oberfläche ausbreiten; der Gebirgsbildung verdanken wir die gewaltigen Ketten, welche unsre Kontinente durchziehen, und selbst die Erdbeben, welche gewöhnlich durch die Verschiebung von Teilen der Erdrinde gegeneinander entstehen, gehören zu denjenigen Erscheinungen, welche der Entstehung oder Vermehrung, nicht der Ausgleichung von Höhenunterschieden an der Oberfläche dienen. So führt uns schon eine sehr einfache Betrachtung zu dem Resultate, daß an der Gestaltung der Erde, an der Hervorbringung geologischer Erscheinungen zwei ganz verschiedene Arten von Kräften arbeiten, welche der Hauptsache nach sich entgegenwirken: die tellurischen Kräfte geben der Erde Relief, sie erzeugen Unebenheiten; die siderischen ebnen ein, sie nivellieren, und so sehen wir in der jeweiligen Oberflächenbeschaffenheit der Erde den momentanen Gleichgewichtszustand, welcher aus dem Widerstreite jener beiderlei Kräfte entspringt.

Der Vesuv.

Wir wenden uns vor allem der Betrachtung der Vulkane zu, der auffallendsten unter allen geologischen Erscheinungen, welche in kürzester Zeit die großartigsten Wirkungen hervorbringen. Ihre Verbreitung ist eine überaus große, wir kennen sie aus allen Weltteilen, und nahe an 300 sind bekannt, die noch jetzt aktiv sind, während 400—500 weitere aufgezählt werden können, welche in historischer Zeit ausgebrochen sind, oder bei welchen Krater, Lavaströme und lose Auswurfsprodukte so frisch erhalten sind, daß man sicher auf eine noch in jüngst vergangener Zeit rege Thätigkeit schließen kann.

Auf dem europäischen Festlande ist nur ein jetzt thätiger Vulkan vorhanden, der Vesuv; außerdem haben wir noch für die Phlegräischen Felder und für Methana in Griechenland bestimmte Nachrichten über Ausbrüche in historischer Zeit. Jedenfalls ist der Vesuv unter allen Feuerbergen am häufigsten besucht und am besten bekannt, von ihm ist das Studium der Vulkane ausgegangen, und da er samt den nahegelegenen Phlegräischen Feldern die meisten Erscheinungen in sehr klarer Weise erkennen läßt, so mag diese Gegend als Ausgangspunkt für unsre Betrachtung der Vulkane dienen. Wer die Gegend von Neapel

gesehen hat, dem sind auch gewiß die physiognomischen Kontraste aufgefallen und im Gedächtnisse geblieben, welche sich zwischen den einzelnen Teilen der Umrandung des Golfes ergeben und durch ihre gegensätzliche Wirkung einen Hauptanteil an dem landschaftlichen Zauber dieser schönsten Meeresbucht haben. Wenn man von Neapel selbst, etwa vom Strande neben dem Aquarium, gegen das Meer hinausblickt, dann hebt sich in der Ferne ein hoher, zackiger Bergzug, aus hellen Kalken gebildet, als ein durchaus von der ganzen Umgebung verschiedenes Element ab; es ist das die Kette des Monte Angelo, der Mons



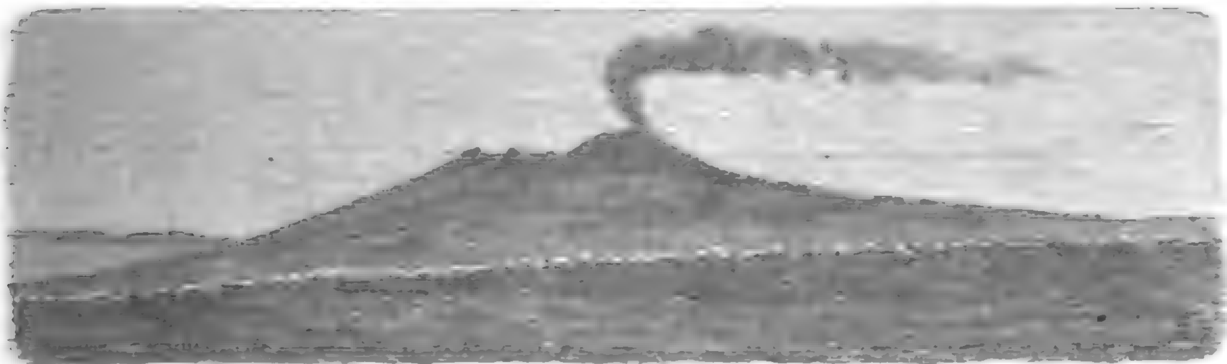
Karte der Umgebung von Neapel.

Lactarius der Alten, der aus der Gegend von Salerno und Amalfi herüberzieht und an seinen Gehängen Castellamare und Sorrento trägt; er endet am Kap der Minerva (Punta della Campanella), seine Fortsetzung bildet die Insel Capri. Dieser Zug hellen, meist der Kreideformation angehörigen Kalkes, der den Golf nach Südsüdosten begrenzt, bildet einen Ausläufer des Apennin, eine marine Ablagerung aus alter Zeit, die mit den vulkanischen Erscheinungen nicht das mindeste zu thun hat.

Der Lauf des Sarno und seine breiten Anschwemmungen trennen diese Region der Apenninenkalke vom Vesuv; der gewaltige Aschenkegel, umrahmt vom Halbkreise des Monte Somma, die beide unvermittelt mit ihrer schwarzen Masse aus der sie rings umgebenden Niederung aufsteigen, zeigt den schönsten Typus eines lange Zeit hindurch in Thätigkeit begriffenen Vulkanes und bildet den auffallendsten und lehrreichsten Kontrast gegen die

langgezogene Mauer des Mons Lactarius. Ein dritter Typus schließt sich nach Westen an; hier tritt wieder keine Andeutung selbständiger Eruptionspunkte auf, obwohl vulkanisches Material allenthalben den Grund bildet; es sind nur die Aufschüttungen loser Auswürflinge, Asche, Sand und sogenannter Rapilli, welche, aufgehäuft und durch Wasser zu vulkanischen Tuffen verfestigt, den Boden der Campagna Felice zusammensetzen.

Jenseits von Neapel, wenn wir den Rücken des Posilippo überschreiten, treffen wir dann wieder auf die deutlichen Spuren vulkanischer Thätigkeit; von der Insel Nisita und Camaldoli ziehen sich zahlreiche kleinere und größere Krater bis Kap Miseno. In der Pianura von Camaldoli, der Solfatara, dem Astroni, Gaurus, Monte Nuovo, dem Averner und Agnaner See und zahlreichen andern haben wir Ausbruchsöffnungen eines und desselben Gebietes, eines Herdes, dessen Auswurfsprodukte aber nicht, wie beim Vesuv, von einer einzigen Zentralstelle sondern aus einer Menge fortwährend neu sich bildender und wieder erlöschender Schlünde austreten; infolgedessen wurde auch kein gewaltiger Berg aufgeschüttet, sondern das ganze Land von einer Menge nebeneinander stehender Kegel bedeckt.



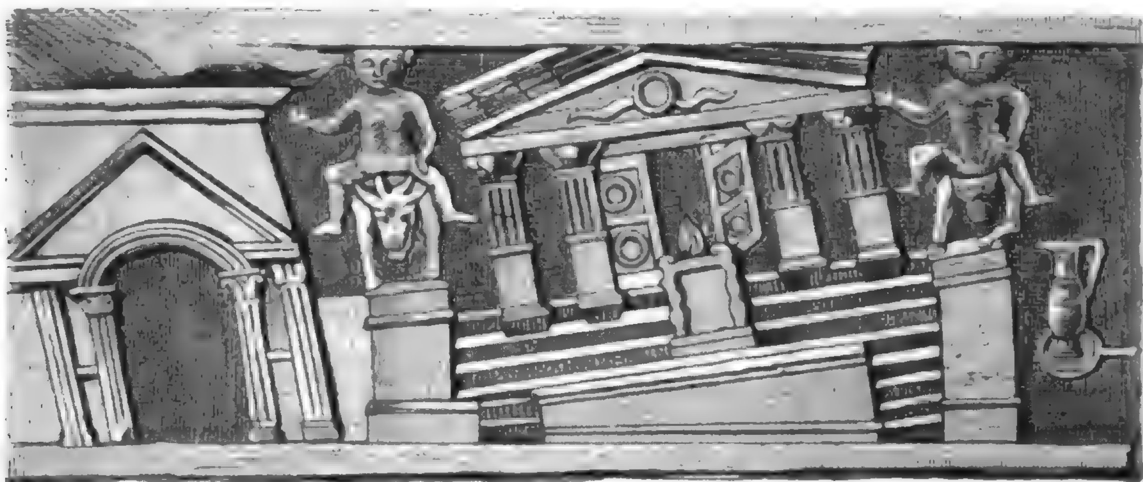
Der Vesuv, von der Insel Nisita gesehen. Vgl. Text, S. 144.

Die Inseln Procida und Ischia, die Fortsetzung der Phlegräischen Felder, nähern sich dann wieder den Kalken der Insel Capri und schließen so den gewaltigen Kreis der Bucht von Neapel.

Der Vesuv hat an seinem Fuße einen Umfang von ungefähr $3^3/_4$ geogr. □Meilen; bis zu einer Höhe von 595 m über der Meeresfläche erhebt er sich als ein flacher, sanft ansteigender Kegel, der den zwei Hauptteilen des Berges, dem Monte Somma und dem eigentlichen Vesuvkegel, zur gemeinsamen Basis dient. Die Somma bildet einen halbkreisförmigen Ringwall, der nach außen, gegen die Orte Somma, Ottajano 2c., sanft abfällt, nach innen, nach dem zentralen Kegel, in furchtbaren Steilwänden niederstürzt. An seinen beiden Enden erscheint dieser Halbkreis abgebrochen; die andre Hälfte des Ringes bildet eine flache, rings um den ganzen Vesuv herumlaufende Terrasse, Le Piane, eine Gegend, die jedem Besucher des Vesuvs wohlbekannt ist, denn der ziemlich ebene Weg, der vom Observatorium zum gewöhnlichen Anstiegspunkte des Aschenkegels und zu der Station der neuerrichteten Seilbahn führt, verläuft auf dieser Stufe.

Im Zentrum des Kreises, welchen Monte Somma und die Terrasse der Piane bilden, erhebt sich der Hauptgipfel des Vesuvs, ein steil unter einem Winkel von 30 bis 31° ansteigender Kegel, der den jetzigen Krater trägt. Vom Monte Somma ist er durch die überaus wilde halbkreisförmige Schlucht des Atrio del Cavallo getrennt, welche von der Somma um ungefähr 300 m, vom Zentralgipfel jetzt um 480 m überragt wird. Natürlich gestaltet sich die Ansicht des Berges sehr verschieden, je nach der Seite, von der man ihn betrachtet; von Neapel aus zeigt er die bekannte doppelgipfelige Form (links die Somma, rechts der Aschenkegel), in welcher die Somma sich auch verkürzt als ein Kegel darstellt,

indem der Abfall gegen den Vesuv nicht durch die Steilwände des Atrio, sondern durch den gegen das Observatorium sich senkenden Hauptkamm der Somma gebildet wird. Allein schon auf kurze Entfernung verschiebt sich das Bild; schon jenseit des Posilippo, etwa von der kleinen Insel Nisita aus, scheinen Somma und Vesuv einen zusammenhängenden Zug zu bilden. Die Abbildung auf S. 143 zeigt genau nach einer Photographie den Umriß des Berges von diesem Standorte aus. Dieselbe bietet insofern Interesse, als sie in auffallender Weise zeigt, wie sehr das Auge Höhe und Schroffheit der Berge zu überschätzen pflegt. Wer die neue Posilippostraße gegen Puzzuoli entlang gewandert ist und aus der Gegend, in welcher die Aufahme gemacht ist, den Vesuv betrachtet hat, der bewahrt das Bild einer gewaltig dominierenden, weit über den Horizont aufragenden Erhebung von großer Steilheit im Gedächtnisse; allein die unerbittliche Camera des photographischen Apparates zeigt uns eine flache Anschwellung des Bodenreliefs, die nur in unmittelbarer



Ein antikes Relief, den Einsturz eines Tempels in Pompeji bei dem Erdbeben des Jahres 63 n. Chr. darstellend (nach de Rossi).

Nähe des Gipfels sich etwas schärfer erhebt, und lehrt die vollständige Unzulänglichkeit des Augenmaßes bei Beurteilung von Berghöhen erkennen. Wieder eine andre Form nimmt der Vesuv, von andern Seiten betrachtet, an; vom Eingange des Golfes von Neapel aus gesehen, steht der Kegel gerade vor der Mauer der Somma, während er von dieser gedeckt wird, wenn man vom Binnenlande aus sich von Nordost her nähert.

Die Somma behält ihre Form und ihre Höhe bis auf die unmerklichen Veränderungen, welche die Verwitterung mit sich bringt, bei; seit 1800 Jahren dürfte sie sich annähernd gleichgeblieben sein. Ganz anders der zentrale Kegel, dessen Umriß und Größe steten Schwankungen unterworfen sind; seine jetzige Gestalt hat er der Hauptsache nach bei dem Ausbruche von 1872 erhalten. Wir werden diesen Zustand noch näher kennen lernen, allein es wäre bei einer Erscheinung, die im Laufe der Jahre stetem Wechsel unterworfen ist, nur von geringem Werte, die ephemere Bildung des heutigen Tages zu schildern; wir müssen die einzelnen Gestaltungen betrachten, welche der jetzigen vorausgingen und in dieser ihren momentanen Abschluß finden. Indem wir die Geschichte des Vesuvs, die weitaus besser als die irgend eines andern Vulkanes bekannt ist, in ihren einzelnen Phasen an uns vorübergehen lassen, lernen wir auch das Wesen der vulkanischen Eruptionen überhaupt an diesen Beispielen kennen.

Der erste Ausbruch, von dem wir wissen, fand im Jahre 79 nach Christo statt. Es ist jene berühmte Katastrophe, bei welcher Pompeji, Herculaneum und Stabiä verschüttet wurden. Vorher scheint eine viele Jahrhunderte umfassende Periode der Ruhe stattgefunden zu haben,

da nur wenige Andeutungen in Schriftstellern, keine Traditionen bei den Umwohnern von einer frühern Eruption vorhanden waren, wenn auch ein scharfsinniger Gelehrter jener Zeit nach der Beschaffenheit der Gesteine den Berg als einen erloschenen Vulkan bezeichnet hatte.

Die ersten Vorboten des Ausbruches waren im Jahre 63 n. Chr. Erdbeben, welche die Umgegend verwüsteten und einen Teil von Pompeji zerstörten; die Stadt wurde aber rasch wieder aufgebaut. Man hat auf einem Votivaltar eine Basreliefdarstellung (vgl. die Abbildung auf S. 144) gefunden, welche den Einsturz eines der Tempel des Forums darstellt und welche bei Berücksichtigung der Topographie von Pompeji nach der Richtung des Falles zeigt, daß man es mit einem ostwestlich gerichteten Stoße zu thun habe, ein Schluß, der auch durch die Richtung der Sprünge in den Gebäuden Bestätigung findet.

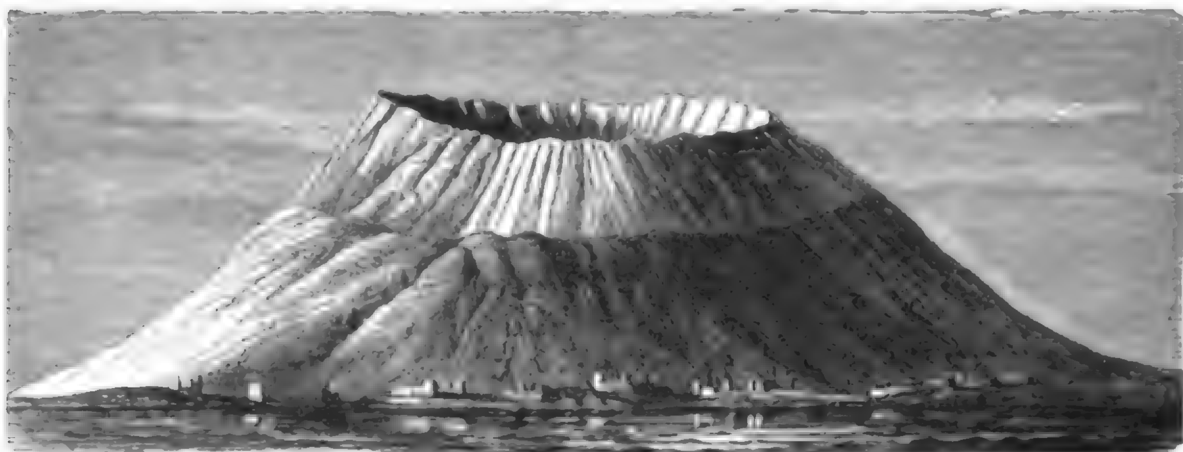


Pinienwolke des Vesuvs im Jahre 1822, (nach Poulett Scrope). Vgl. Text, S. 153.

Sechzehn Jahre später, im Jahre 79, trat der Berg in eigentliche eruptive Thätigkeit, er entwickelte sofort, wie das sehr häufig vorkommt, nach der sehr langen Ruhe einen Paroxysmus der furchtbarsten Art, über dessen Verlauf uns mehrere Nachrichten vorliegen, vor allen zwei Briefe des jüngern Plinius an Tacitus. Plinius hatte als ein junger Mann zu Misenum diese schrecklichen Ereignisse mit erlebt, bei welchen sein großer Onkel, der ältere Plinius, zu Grunde ging. Ein heftiges Erdbeben eröffnete die Katastrophe; dann erhob sich aus dem Krater eine gewaltige Wolke, hauptsächlich aus weißem Wasserdampfe bestehend, aber vielfach durch die mit ausgeworfenen Steine und vulkanische Asche schwarz gefärbt und von einer Gestalt, die Plinius mit einer Pinie vergleicht (vgl. auch obenstehende Abbildung), eine riesige Dampfsäule, die dann in der Höhe, wo die Triebkraft von unten erlahmt, sich ausbreitet, Asche und Steine fallen läßt und den Wasserdampf in gewaltigen Regengüssen

unter fortwährenden Blitzen von furchtbarer Stärke niedersendet. Diese sehr charakteristische Wolkenbildung wird noch heute in allen Werken stets mit dem ihr von Plinius gegebenen Namen als Pinienwolke bezeichnet.

Die Erdbeben dauerten fort und wurden immer stärker, nahmen aber ab, als die Ascheneruption ihren Höhepunkt erreichte; die Menge der ausgeschleuderten Asche und der Bimssteinstückchen nahm derartig zu, daß sie auch auf der andern Seite des Golfes von Neapel, bei Misenum, die Sonne verfinsterten, daß am hellen Tage eine Dunkelheit eintrat, „nicht wie in einer mondlosen, wolkigen Nacht, sondern wie wenn man in verschlossenen Orten das Licht auslöscht", und daß in dieser weiten Entfernung „man oft vom Boden aufstehen und die Asche abschütteln mußte, um nicht zugedeckt und von ihrer Last erdrückt zu werden", und „alle Gegenstände von der Asche wie mit Schnee bedeckt waren". Lava wurde, wie es scheint, gar nicht oder doch nur in sehr unbedeutender Menge ausgestoßen, und es ist ja wohl jetzt allgemein bekannt, daß Pompeji und die Schwesterstädte nur durch



Mutmaßliche Form des Vesuvs vor dem Ausbruche vom Jahre 79.

Asche und die Masse der kleinen Steinchen, der sogenannten Lapilli oder Rapilli, verschüttet wurden. Vermutlich wurde dieses Material durch das Wasser der aus der „Pinie" niederstürzenden Regengüsse zu einer schlammigen Masse umgewandelt, die sich stromartig den Berg herabwälzte und alles umhüllte. Auf diese Weise erklärt es sich, daß sich ein Tuff bildete, der alles umschloß und dann bei der Erhärtung die Gegenstände abformte, so daß man z. B. durch Eingießen von Gips in die Hohlräume das vollständige Modell der verunglückten Menschen erhalten konnte.

Es ist durchaus kein isolierter Fall, daß in scheinbar paradoxer Weise bei dem Ausbruche des Feuerberges vor allem das Wasser verderblich wirkte; sehr oft wiederholt sich diese Erscheinung, und man kann ganz allgemein sagen, daß die aus der Vulkanwolke herabbrausenden Fluten entweder für sich allein oder mit der Asche zu Schlammströmen gemengt mindestens ebenso schreckliche Zerstörungen anrichten wie die Lava. Wir werden unten eine der furchtbarsten Katastrophen dieser Art kennen lernen, die sich im Jahre 1823 am Gunung Gelungung auf Java ereignete.

Es wird uns auch berichtet, daß bei dem Vesuvausbruche des Jahres 79 ein Teil des Berges eingestürzt sei, und wenn wir diese Nachricht mit den Schilderungen vergleichen, nach welchen derselbe bis dahin ein einfacher abgestumpfter Kegel mit einer großen Kraterebene gewesen sei (s. obenstehende Abbildung), so gelangen wir zu dem Resultate, daß damals der ganze Vesuv eine wichtige Veränderung erlitten, daß er wenigstens in den Hauptzügen seinen heutigen Charakter erhalten habe. Da von Strabon kein zentraler Aschenkegel,

keine doppelte Gipfelbildung erwähnt wird, so bestand vor der Katastrophe aller Wahrscheinlichkeit nach nur der Monte Somma, der aber damals nicht, wie heute, einen Halbkreis, sondern einen vollständigen Ring bildete, in dessen Innerm 150 Jahre vorher das Heer des Spartacus gelagert hatte. Es wird daher und wohl mit Recht jetzt allgemein angenommen, daß damals jene Hälfte der Somma einstürzte, welche über den heutigen Piane stand, und da nach allen Erfahrungen, die wir über Vulkane haben, ein so riesiger Aschen- und Steinauswurf nicht stattfinden konnte, ohne daß sich ein Kegel um die Auswurföffnung bildete, so darf wohl auch die erste Entstehung des zentralen Gipfels auf dasselbe Ereignis zurückgeführt werden, wenn wir auch nicht mit Bestimmtheit behaupten können, daß derselbe sich sogleich zu seiner vollen, die Somma überragenden Höhe aufgebaut habe.

Fassen wir also das Resultat jenes ersten historisch beglaubigten Ausbruches in wenigen Worten zusammen, so ist es: Einsturz des südsüdwestlichen Teiles der Somma, so daß von dem ursprünglichen Ringgebirge nur noch ein Halbkreis übrigblieb, und Aufschüttung des zentralen Gipfels. Seit dieser Zeit hat die Somma keinen Ausbruch gehabt, stets geschahen dieselben aus dem Krater oder von den Seiten des zentralen Gipfels; trat Lava aus, so floß sie entweder auf der südlichen Seite unmittelbar nach abwärts, oder sie ergoß sich in die Schlucht zwischen Kegel und Somma, in das Atrio del Cavallo, dessen Sohle dadurch fortwährend erhöht wird, und aus dessen Ausgängen bei hinreichender Masse der Feuerstrom entweder nach Westen, am Observatorium vorbei, oder nach Osten, in der Richtung gegen Pompeji, ins Freie gelangt.

Das Höhenverhältnis zwischen Somma und Vesuv ist ein stets wechselndes, gewöhnlich ist der letztere höher und baut sich in Zeiten gemäßigter Thätigkeit durch die Anhäufung der ausgeworfenen Aschen und Steine immer weiter auf, während bei heftigen Ausbrüchen in der Regel ein Stück verloren geht und dann der Aschenkegel zeitweilig auch niedriger ist als die Somma. Wir haben eine ziemliche Anzahl von Höhenbestimmungen, welche dieses Verhältnis sehr deutlich zeigen. Die Höhe betrug:

1749: 1160 Meter	Februar 1846: 1193 Meter	August 1847: 1240 Meter
1810: 1249 "	März 1846: 1196 "	1850: 1291 "
1822: 1269 "	Juli 1846: 1219 "	1855: 1286 "
1832: 1140 "	Januar 1847: 1222 "	1855: 1234 "
1845: 1182 "	März 1847: 1237 "	1868: 1297 "

Kurz nach der Messung im Jahre 1822 trat eine sehr heftige Eruption ein, bei welcher der oberste Teil des Gipfels fast bis zum Niveau der Somma herab einstürzte; dann folgt ein allmähliches Aufbauen, dessen Fortschritte namentlich durch die von Amati in der Mitte der vierziger Jahre gemachten Messungen sehr deutlich hervortreten. Der Ausbruch vom Jahre 1855 macht sich wieder durch einen Verlust von fast 60 m bemerkbar; dann folgt wieder Aufbau, und im Jahre 1868 finden wir die bedeutendste Erhebung, allein die Katastrophe des Jahres 1872 stürzte wieder einen Teil der Neubildung in den Krater hinab. Allerdings überragte in der ganzen Zeit, aus der uns diese Messungen vorliegen, der Aschenkegel den 1110 m hohen Gipfel der Somma, aber z. B. nach den Ausbrüchen von 1631 und 1737 waren so große Teile des erstern eingestürzt, daß letztere jenen entschieden überragte.

Im ganzen werden aus der Zeit vom Untergange Pompejis bis zum 17. Jahrhundert acht Eruptionen genannt, die teilweise durch sehr lange Pausen vollständiger Ruhe voneinander geschieden waren. Es zeigt sich dabei die sehr merkwürdige Erscheinung, daß gerade in solchen großen Unterbrechungen der Vesuvthätigkeit Ausbrüche aus andern benachbarten Schlünden, in den Phlegräischen Feldern und auf Ischia, stattfanden; im Jahre 1198 war die Solfatara bei Pozzuoli in Thätigkeit, 1302 der Monte Epomeo auf Ischia, und 1538 schütteten gewaltige Block- und Aschenauswürfe den Monte Nuovo bei Pozzuoli auf, während

vom Vesuv in der Zeit von 1139 bis 1631 eine einzige unbedeutende Ascheneruption um 1500 erwähnt wird. Die Jahreszahlen, an welche sich Vesuvausbrüche knüpfen, sind: 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139 und 1500. Die Berichte aus jener Zeit sind überaus dürftig und bieten wenig Interesse, doch verdient die riesige Entfernung erwähnt zu werden, auf welche nach Procopius die Asche vom Winde geführt wurde; 472 flog dieselbe bis Konstantinopel, bei einem andern Ausbruche (512?) bis Tripolis an der afrikanischen Küste.

Während der kaum gestörten fünfhundertjährigen Ruhe vom 12. bis 17. Jahrhundert hatte sich der Berg mit Vegetation bekleidet, selbst im Krater stand ein Wald von alten Bäumen, Eichen, Steineichen und Eschen, nur einzelne Fumarolen (Dampfausströmungen) und drei Pfützen mit teils warmem, teils salzigem oder bitterm Wasser erinnerten an die frühere Thätigkeit; nichts ließ gegen Ende des Jahres 1631 ahnen, daß man am Vorabende des schrecklichsten Vesuvausbruches stehe, der je stattgefunden hat. Wenige Tage vor demselben wird von einem unterirdischen Rauschen berichtet, auf der Nordwestseite hatte sich eine Spalte gebildet, aus welcher Dämpfe aufstiegen, und der Krater soll sich gefüllt haben; doch niemand vermutete nach diesen wenigen Anzeichen das Herannahen einer Gefahr. Am Abende des 15. Dezember 1631 begannen Erdbeben, zuerst sehr schwach, dann stärker und immer stärker; ihrer 20 erfolgten bis 5 Uhr des folgenden Morgens. Kurz vor Sonnenaufgang spaltete sich mit furchtbarem Getöse die Südseite des Berges etwas oberhalb des Atrio del Cavallo; Dampf, Asche, Steine wurden mit rasender Gewalt ausgeworfen, nach einigen Augenzeugen wurde ein Teil des Berges in die Luft geblasen. Eine Pinienwolke bildete sich, rasch breitete sie sich aus und verfinsterte die Sonne; um 11 Uhr fiel Aschenregen in der Basilicata, um 2 Uhr in Tarent, am Morgen des 17. wird er von Cattaro in Dalmatien gemeldet, am 16. fiel Asche auf das Verdeck von Schiffen im Golfe von Volo in Thessalien. Selbst mächtige Steinblöcke wurden auf große Entfernung geschleudert, einer derselben, so schwer, daß er die Decke eines Kellers zertrümmerte, fiel in einer Entfernung von 12 Miglien herab, und die niederstürzenden glühenden Massen verbrannten alles in Nola, Palma, Lauro, Ottajano und andern Orten; gleichzeitig fanden unausgesetzt heftige Erdbeben statt, die bis Kalabrien und Apulien sich ausdehnten.

Allein erst am 18. Dezember erreichten die Schrecknisse ihren Höhepunkt; nach einem äußerst heftigen Erdbeben stürzte sich eine ungeheure Lavaflut aus dem Krater, die in mehreren Armen gegen das Meer herabströmte und den Weg bis dahin in weniger als einer Stunde zurücklegte. 3000 Menschen wurden getötet, ein Strom zerstörte Bosco und Torre dell' Annunziata, ein zweiter den größten Teil von Torre del Greco, ein dritter Portici und Resina, und alle drei schoben sich noch mehrere hundert Meter ins Meer vor. Merkwürdigerweise sollen unmittelbar nach der Lava sich aus dem Krater riesige Wasserfluten ergossen haben, welche Meeresalgen, Muscheln und selbst Fische mitbrachten, und sich am 18., 20., 24. und 31. Dezember wiederholten (?). Während der letzten Tage des Jahres kamen noch bisweilen Erdbeben und Auswürfe von Asche vor, auch von furchtbaren Regengüssen und heftigen Orkanen wird berichtet; dann trat Ruhe ein.

Als am 19. Dezember die durch den Aschenauswurf erzeugte Dunkelheit sich etwas erhellte, bemerkte man, daß ein großer Teil des Kratergipfels eingestürzt sei; er hatte vor der Katastrophe um etwa 40 m die Somma überragt, jetzt war er um etwa 130 m niedriger als diese, er hatte also 170 m an Höhe verloren.

Nach diesem furchtbaren Ausbruche ereigneten sich in den nächsten Jahren noch einige weitere, dann folgte von 1638 bis 1660 eine Ruhepause. In dem letztern Jahre fand wieder ein größerer Ausbruch statt, und seitdem ist der Vesuv fast in beständiger Thätigkeit, so daß kaum ein Zeitraum von zehn Jahren zu nennen ist, der ohne Ausbruch geblieben wäre; heftigere und schwächere Eruptionen wechselten miteinander ab, im Jahre 1734 stürzte ein

beträchtlicher Teil des Berges in die Tiefe. Die Eruption von 1794 ist schon an sich sehr bedeutend, sie wird aber besonders wichtig durch den wunderbaren Bericht, den uns L. v. Buch von diesem großartigen Ereignisse gegeben hat:

„Unter den vielen Ausbrüchen des Vesuvs sind doch nur zwei bekannt, denen die Eruption von 1794 an furchtbarer Größe weicht. Durch die erstere von diesen wurden das reiche Herculanum und die Seestadt Pompeji zerstört und dem Meere neue Grenzen bestimmt. Die zweite, im Jahre 1631, stürzte fast unzählbare Feuerströme über die in Menge um den Fuß des Vulkans gelagerten Ortschaften. Alle fruchtbaren Pflanzungen wurden gänzlich zerstört, und fast die Hälfte der Einwohner verlor in den Flammen das Leben.

„Beide erschienen, als bei den anwohnenden Menschen jede Überlieferungsspur von dem im Innern des Berges verborgenen Zerstörungsquell durch die Länge der Zeit fast völlig verwischt war. Aber in neuern Zeiten hat der Vulkan fast jährlich neue und große Phänomene gezeigt, und es lebte in der Gegend fast niemand, der nicht die Verwüstungen mehrerer Ausbrüche selbst empfunden oder beobachtet hätte. Und doch konnte eine zweijährige Ruhe des Berges, in der sein Gipfel auch nicht einmal dampfte, die Einwohner in so große Sorglosigkeit stürzen, daß sie den Vesuv auch dann noch gänzlich vergaßen, als sie am 12. Juni um 11½ Uhr in der Nacht plötzlich ein heftiges Erdbeben aufschreckte.

„Der Boden in der ganzen Ebene Kampaniens schwankte wie flüssige Wellen von Morgen nach Abend. Die Neapolitaner stürzten aus den Häusern auf die großen Plätze des Palazzo Reale, del Mercato, delle Pigne. Sie glaubten im nächsten Augenblicke ihre Häuser zu Boden geworfen, und angstvoll erwarteten sie im Freien den Morgen, Kalabriens Schicksal befürchtend. Als ihnen aber die Sonne hell aufging und sie den Vulkan in der gewohnten Ruhe erblickten, glaubten sie den Ruin der südlichen Provinzen des Reiches befürchten zu müssen und leiteten von dorther die Erscheinungen der vergangenen Nacht. Aber nicht lange währte ihr Irrtum. Drei Tage darauf, am 15. Juni um 11 Uhr in der Nacht, erbebte die Erde von neuem; es war nicht mehr ein wellenförmiges Schwanken wie vorher, es war ein unregelmäßiger Stoß, der die Gebäude zerriß, die Fenster klirrend erschütterte und gewaltsam die innern Gerätschaften durcheinander stürzte. Und sogleich erhellten rote Flammen und leuchtende Dämpfe den Himmel.

„Der Vesuv war am Fuße des Kegels geborsten, und von den Dächern der Häuser sah man die Lava in parabolischen Bogen hervorspringen. Fortwährend hörte man einen dumpfen, aber heftigen Lärm, wie den Katarakt eines Flusses in eine tiefe Höhle hinab, unaufhörlich schwankte der Berg, und eine Viertelstunde darauf hörte auch in der Stadt nicht mehr die Erschütterung auf. Mit solcher Wut hatte man noch nie die Lava hervorbrechen sehen. Das reizbare Volk, das sich nicht mehr auf festem Boden, die Luft in Flammen und voll schrecklicher, nie gehörter Töne erblickte, stürzte, von Furcht und Schrecken ergriffen, zu den Füßen der Heiligen in Kapellen und Kirchen, griff nach Kreuzen und Bildern und durchzog heulend die Stadt in wilder Verwirrung. Der Berg achtete ihres Angstgeschreies nicht, es sprangen immer neue Öffnungen auf, und mit gleichem Lärme und gleicher Gewalt stürzte daraus die Lava hervor. Rauch, Flammen, Dampf erhoben sich zu ungeheuern Höhen jenseit der Wolken und verbreiteten sich dann auf den Seiten in Form einer unermeßlichen Pinie, wie zu Plinius' Zeiten.

„Nach Mitternacht verlor sich dieses unausgesetzte fürchterlich dumpfe Getöse, mit ihm die stete Erschütterung und das Schwanken des Berges; die Lava brach jetzt stoßweise aus den Öffnungen hervor, aber in schnell hintereinander sich folgenden Stößen mit donnerähnlichem Knalle. Die sie so gewaltsam und tobend hervorstoßenden elastischen Mächte schleuderten unzählige große Felsstücke zu erstaunlicher Höhe hinauf in die Luft, und neue Flammen und schwarze Rauchwolken folgten diesen zertrümmerten Felsen.

„Nach und nach folgten die Stöße seltener hintereinander, aber ihre Kraft verdoppelte sich, und zuletzt schien der ganze Berg nur eine Batterie zugleich abgeschossener Artilleriestücke zu sein. Und während dieses gewaltsamen Donnerns, schon nach Mitternacht, sah man auch die jenseit des Vulkans gelegene Atmosphäre erleuchtet. Die Lava, ungeachtet der Verwüstungen auf dieser Seite des Berges, sprengte auch den jenseitigen Abhang noch tiefer am Berge herab und weiter vom Gipfel und stürzte mit Gewalt aus der Öffnung in eine weite Schlucht, welche schon ältere Laven verwüstet hatten, gegen Mauro hinab. Sie wütete in den Waldungen am Ausgange des Thales, verbreitete sich auf der weniger sich neigenden Fläche, fing dann langsamer zu fließen an, und nach drei Tagen erstarrte sie gänzlich, ohne Wohnungen erreichen zu können.

„Nicht so die donnernde Lava gegen Neapel. Sie stürzte mächtig und schnell vom Abhange herab. Jede Explosion aus den Kratern drängte eine neue Masse von Lava herauf, die, sich dem Strome zu werfend, ihm neue Kraft und Stärke zu geben schien. Die Hälfte der Einwohner von Resina, Portici, Torre del Greco starrte mit fürchterlich ängstlicher Erwartung auf jede kleine Bewegung des Feuerstromes, dessen Richtung bald diesen, bald jenen Ort zu bedrohen schien; die andre Hälfte lag hingeworfen vor den Altären, sich Rettung vor der schrecklichen Lava zu erflehen. Plötzlich richtete die ganze Masse ihren Lauf genau auf Resina und Portici zu. Alles Lebendige in Torre del Greco stürzte in die Kirchen, dem Himmel für die geträumte Rettung zu danken; in ihrer unmäßigen Freude vergaßen sie den dann notwendigen Untergang ihrer Nachbarn. Aber ein tiefer Graben stellt sich dem Laufe der Lava entgegen, sie folgt seiner Richtung, und er öffnet sich auf der Höhe über das unglückliche, sich gerettet glaubende Torre del Greco. Mit neuer Wut fällt der Strom den steilern Abhang hinab. Er trennt sich nicht mehr, und mit 2000 Fuß Breite erreicht er die blühende Stadt. Im nächsten Augenblicke suchen 18,000 Menschen Schutz auf dem Meere. Noch ehe sie das Ufer verlassen, sehen sie über den eingestürzten Dächern der Häuser aus der Mitte der Lava hervor sich dicke schwarze Rauchsäulen erheben und große Flammen wie Blitze. Paläste und Kirchen stürzten krachend zusammen, und fürchterlich donnerte dazwischen der Berg.

„Um 11 Uhr in der Nacht brach die Lava aus dem Innern hervor, und schon um 5 Uhr morgens war Torre del Greco nicht mehr. In sechs Stunden hatte die glühende Masse 4 italienische Meilen durchlaufen, eine noch nie erhörte Geschwindigkeit in der Geschichte des Berges. Das große Meer selbst vermochte es kaum, der Lava Grenzen zu setzen. Mächtig wälzte sich der obere Teil, indem der untere im Wasser erstarrte, über den erkalteten weg. Weit umher siedete das Wasser, und gekochte Fische in unzähliger Menge bedeckten die Fläche.

„Mitten unter diesen Verwüstungen brach der neue Tag an. Man sah die aus den Kratern sich hebenden Flammen nicht mehr, aber auch den Berg nicht. Eine schwarze, fest scheinende Wolke lagerte sich um ihn herum und verbreitete sich nach und nach wie ein finsterer Flor über den Golf und das Meer. Unaufhörlich fiel in Neapel und in der Gegend ein feiner Aschenregen herab und bedeckte alle Pflanzen und Bäume, alle Häuser und Straßen. Die Sonne erhob sich strahlenlos und ohne Glanz, und kaum war die Helle des Tages dem schwachen Lichte der Morgenröte vergleichbar. Ein unbedeckter Streif am äußersten westlichen Horizont ließ doppelt die Menschen empfinden, wie sie in Finsternis eingehüllt waren. Diese fürchterlich-traurige Erscheinung vermochten die Neapolitaner nicht zu ertragen. Alle überfiel eine ängstlich-düstere Schwermut, und in ununterbrochen fortgesetzten Prozessionen suchten sie den erzürnten Himmel zu besänftigen. Es war nicht mehr das leicht empfängliche Volk, das lärmend mit den Kreuzen die Straßen durchstürzte. Die vornehmsten Familien Neapels schlossen sich dem feierlichen Zuge der Prozessionen an und folgten seufzend und still in langer Reihe dem Kreuze durch die Finsternis nach. Man glaubte alles, was

die Asche berührte, mit einem tödlichen Hauche bedeckt; der eingebildete Verlust der reichen Pflanzungen umher setzte die Menge in stumme Verzweiflung, und nur mit Mühe gelang es der Regierung, durch Bekanntmachung der unschädlichen Bestandteile der Asche diese Furcht zu zerstreuen.

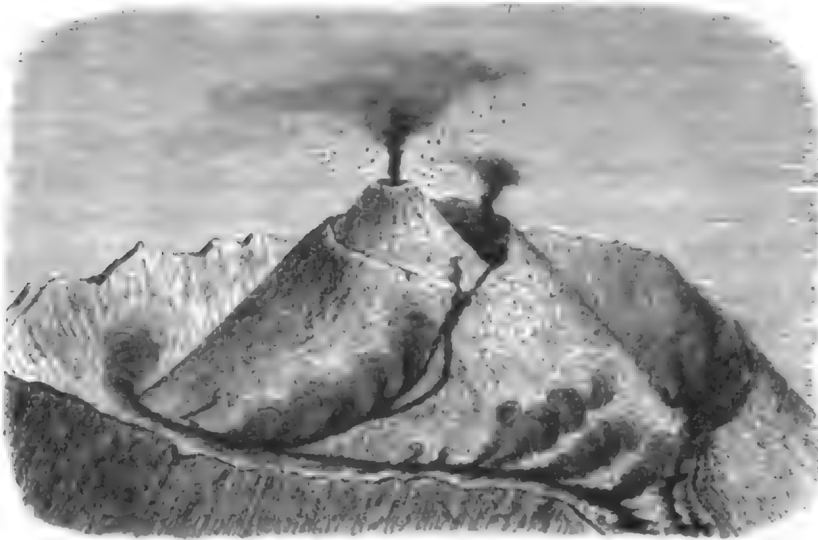
„Die Asche fiel um so stärker und häufiger, je näher am Berge. Als sie eine Linie hoch die Straßen von Neapel bedeckte, lagen 5 Linien in Portici, 9 Linien in Resina und 15 Linien in der Nähe der Lava. In Neapel war es schwarzer, feiner Staub, näher dem Vulkane zu ein feiner Sand mit erkennbaren Teilen, und auf dem Vesuv waren Rapilli, kleine Steintrümmer, gefallen.

„Die Lava selbst bewegte sich noch, aber langsam und nur am äußern Ende bemerkbar. Eine harte erstarrte Rinde bedeckte den fließenden Strom, und die Oberfläche dieser glühenden Masse erkaltete so schnell, daß zwölf Stunden nach Zerstörung der Stadt viele ihrer unglücklichen Bewohner es wagten, schnell gegen ihre zerstörten Wohnungen zu eilen, um der Lava das Wenige zu entreißen, was sie verschont haben konnte. Ja, man war sogar glücklich genug, auf diesem Wege mehrere Personen zu retten, welche, in einem Kloster verschlossen, die jenseit der Lava Geretteten bis dahin vergebens um Hilfe angefleht hatten. An vielen Orten war die Lava geborsten; aus deren Innerm erhob sich ein heftiger, widriger, kochsalzgesäuerter Dampf, und man sah hellleuchtende Flammen zu beiden Seiten der Spalten. Man hörte ein unaufhörliches, entfernt scheinendes Donnern, und schnelle Blitze im schwarzen, vom Berge sich herabwälzenden Regen erhellten die finstere Nacht. Man sah, daß diese gewaltige Masse aus dem großen Krater auf dem Gipfel des Berges hervorgewälzt wurde. Man sah, wie sich eine ungeheure, dichte, rund gestaltete Wolke aus dem Innern erhob, wie sie sich aufzublähen schien, je höher sie stieg. Große, zu schwere Felsstücke fielen in fortgesetztem Regen senkrecht von ihren Rändern wieder in den Abgrund hinab. Eine neue Wolke folgte der ersten schnell mit gleicher Erscheinung und so unzählige hintereinander bis zu unabsehbaren Höhen. Ein großer, erhabener Anblick! Oft schien der Berg mit einer Krone dieser zu eignen Systemen geordneten Wolken bedeckt. Nach und nach löſten sie sich auf, die größern Stücke fielen senkrecht herab und rollten am Abhange des Kegels herunter; die feinere Asche entführte der Wind und zerstreute sie über das Land. Wenige Stunden darauf hatte die Asche wieder den ganzen Himmel bedeckt, und Tag und Nacht waren, wie vorher, durch keine Grenze geschieden.

„Man hatte am Tage einige schwache Erschütterungen bemerkt. In der Nacht, um 2 Uhr, am 18., erschreckte ein neuer heftiger Stoß die für kleine Phänomene durch das Furchtbare der vorigen Tage nicht mehr empfänglichen Menschen. Man empfand ihn vorzüglich in Portici, Resina und andern dem Berge nahegelegenen Orten. Und beim Anbruche des weniger durch die Asche verhüllten Tages sah man mit Erstaunen, daß der Gipfel des Vulkanes eingestürzt war; statt der vorigen Spitze sah man ihn schief abgestumpft gegen das Meer. Die unaufhörlichen Aschenausbrüche hatten so sehr das Innere des Berges erschöpft, daß er den Gipfel nicht mehr zu unterstützen vermochte. Die ganze Masse fiel im Krater zusammen. Aber diese imposante Erscheinung beendigte den finstern Aschenregen nicht. Wenn auch in Neapel und Portici und der nahen Gegend umher weniger Asche fiel als an den vorigen Tagen und das matte rötliche Bild der Sonne mehrere Stunden lang sich durch den Staub in der Luft zeigte, so litten dagegen doppelt die Orte ostwärts des Berges. Ein heftiger Ostwind führte die aus dem Krater sich heraufhebende Masse von der Meerseite weg, und mit doppelter Wut stürzte sie auf Somma, Ottajano, Nola, Caserta herab. Bis in das Apenninengebirge herein war tiefe Nacht. Der ganze Vesuv schien sich in Staub herabstürzen zu wollen. Wolkenbrüche vermischten sich in der Luft mit der Asche, und die Masse fiel wie ein zäher Teig über die Gegend. Fest umgab

er die zartesten Zweige der Pflanzen und Bäume, und alle Pflanzungen dieses fruchtbaren Striches erlagen unter der unerträglichen Last. Viele Dächer in den Orten stürzten zusammen, und die Einwohner sahen sich genötigt, ihr Leben durch schnelle Flucht in das Gebirge zu retten. Auf diese Art fielen einst Pompeji und Herculanum.

„Und wirklich hatte man Ursache, ein noch grausameres Schicksal zu fürchten. Denn während der Schlamm und die Asche den 18. und 19. fast in einer für die Helle des Tages undurchdringlichen Dichte sich herabsenkten, stürzten reißende Wasserströme vom jähen Abhange des Berges herab. Mit grenzenloser Gewalt rissen sie Berge von Steinen und Bäumen mit sich fort und bedeckten mit großen Felsmassen die Ebene. Nur allein in der Nacht vom 20. Juni wälzten sich fünf solcher Ströme vom Berge, und dreimal im Laufe des Tages erneuerte sich diese verwüstende Erscheinung und das letzte Mal mit doppelter Stärke und Kraft. Die ganze den Vesuv umgebende Landschaft ward durch diese Regen verheert; jede kleine Wolke schien mit Macht gegen die Spitze des Berges gezogen, und kaum hatte sie den Gipfel umgeben, als auch schon die Wasser herunterstürzten, Wälder, Straßen, Brücken zerrissen und Häuser und Felder zerstörten. Von allen Seiten lebten die unglücklichen Menschen in beständiger Todesangst und waren fortdauernd genötigt, sich zur schnellen Flucht zu bereiten. Bosco, Somma, Ottajano, Torre dell' Annunziata verloren auf diese Art zum Teil für unzuberechnende Zeiten die Frucht ihres Fleißes, und die Verwüstungen der Lava in Torre del Greco waren kaum verderblicher und größer als die der entsetzlichen Wassermenge, welche der Vulkan auf das Land hinabstürzte. Indes verminderte sich allmählich die Menge der ausgeworfenen Asche. Man sah jetzt mit ihr sich große Dampfwolken aus dem Krater erheben, die in der Luft sich zerstreuten. Doch wurden die Nächte in Neapel noch fortwährend von der unzähligen Menge glänzender Blitze erleuchtet, die sich aus der Aschenwolke unaufhörlich herabstürzten. Ein starker, aber nicht rollender Donner begleitete sie, und daher das noch mehrtägige fortgesetzte Getöse vom Berge.



Der Vesuvkrater im Jahre 1774 (nach Hamilton). Vgl. Text, S. 158.

„Am 24. und noch mehr am 26. fiel wieder mehr Asche auf die Seite gegen Neapel, aber als die Einwohner sie erblickten, erhoben sie ein Freudengeschrei; denn sie war nicht mehr dunkelgrau oder schwarz, wie bisher, sondern hellgrau und zuletzt beinahe ganz weiß. Die Erfahrung aller Eruptionen hatte gelehrt, daß dies der letzte Bodensatz im gärenden Innern des Berges sei, und daß mit ihm die ganze Eruption gewöhnlich endige. Und man betrog sich auch diesmal nicht. Von nun an rauchte der Vesuv fast nur allein. Asche fiel nur noch an einigen Tagen, und seit dem 8. Juli kehrte Heiterkeit in das glückliche Klima Neapels zurück. Schon erhob sich wieder Torre del Greco durch den rastlosen Fleiß der zurückgekehrten Einwohner. Tausende waren auf den Feldern zerstreut, die Blätter und Zweige der Bäume und Reben von der alles bedeckenden Asche zu säubern. In Neapel strömten aufs neue die Menschen den wieder eröffneten Schauspielen zu, und

wie vorher versammelten die Späße des Pulcinells die geschäftslose Menge an den Ecken der Straßen."

In den folgenden Dezennien fanden mehrfache Ausbrüche statt, von denen jedoch keiner von sehr großer Bedeutung war. Erst das Jahr 1822 brachte wieder eine Eruption der heftigsten Art (vgl. Abbildung, S. 145), wenn dieselbe auch keine so verhängnisvollen Folgen mit sich brachte wie jene von 1794. Ferner sind die Jahre 1839, 1850, 1855, 1861 als Ausbruchsjahre zu nennen. Die letzte große Eruption ist diejenige des Jahres 1872 (die Darstellung wesentlich nach Heim und G. vom Rath), durch welche eine mit 1865 beginnende Periode der Thätigkeit abgeschlossen wurde. Zunächst füllte sich der Krater und riß dann im November 1868 auf der Nordseite, die Lava ergoß sich wieder ins Atrio und folgte dem Verlaufe des Stromes von 1855. Damals hatte sich im Innern des Kraters selbst wieder ein Aschenkegel gebildet, welcher eine Höhe von 100 m erreichte, und in diesem stand nochmals ein kleinerer Kegel, eine Erscheinung, die nach dem Werke von Hamilton über die Phlegräischen Felder auch schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts dagewesen war (f. Abbildung, S. 152). Im Jahre 1871 bildete sich in der Nacht vom 12. auf den 13. Januar hoch oben auf der nördlichen Seite, nur etwa 65 m unter dem Gipfel, ein neuer Durchbruch, riesige Lavafelsen türmten sich um denselben auf, umgaben eine Bocca, in der man die glühende Lava kochen und wallen sah, und ungefähr alle 6—8 Minuten wurden mit Detonationen Schlackenstücke, „Bomben", ausgeworfen.

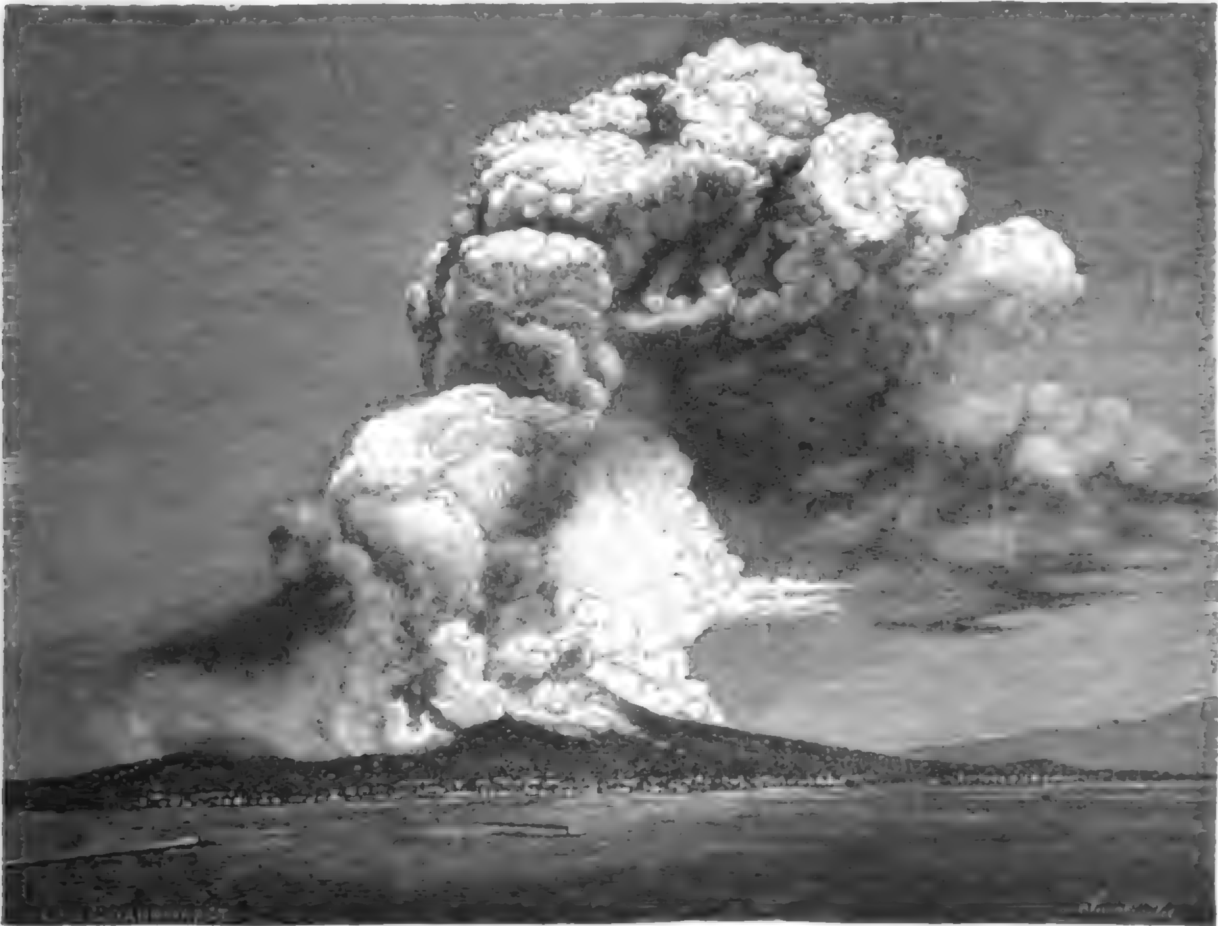


Stirn des Lavastromes von 1872 in der Ortschaft Massa (nach einer Photographie von Sommer). Vgl. Text, S. 155.



Rand des Lavastromes von 1872 (Blocklava) in einem Baumgarten. Auf der frischen Lava noch rauchende Fumarolen (nach einer Photographie von Sommer). Vgl. Text, S. 156.

In der geschilderten Weise dauerten die vorbereitenden Explosionen während des Jahres 1871 und des Beginnes von 1872 fort, ohne daß man einen Anhaltspunkt für die Annahme gehabt hätte, daß ein heftiger Ausbruch bevorstehe. Am 24. April wurden den Tag über Steine ausgeworfen, gegen Abend trat Lava aus, am 25. wiederholte sich dasselbe in etwas verstärktem Maße, die Lava quoll nun fortwährend hervor und wälzte sich ins Atrio. Zahlreiche Personen hatten sich in der Nacht vom 25. auf den 26. hierher begeben, um das herrliche Schauspiel des hellleuchtenden Glutstromes zu beobachten, da plötzlich, zwischen 3 und 4 Uhr morgens, spaltete sich der ganze Aschenkegel vom Gipfel bis ins Atrio hinab, Lavamassen entstürzten der Kluft, ein dichter Hagel geschmolzener



Der Vesuv am 26. August 1872 (nach einer Photographie von Sommer). Vgl. Text, S. 156.

Steine wurde aus dem Gipfelkrater geschleudert; die Zuschauer im Atrio, von dichten Dampfwolken umhüllt, vom glühenden Regen der Bomben überschüttet, vom rasch sich vorwälzenden Lavastrome erreicht, wurden großenteils getötet, einige nur entkamen verwundet nach dem Observatorium.

Die austretenden Lavamassen ergossen sich zunächst ins Atrio, dessen Boden bei dieser Gelegenheit ungefähr um 6 m erhöht wurde, dann gelangten sie an den Abhang des Berges, wo ein Arm sich gegen Torre del Greco wandte, jedoch bald erstarrte und in etwa 420 m Höhe stillstand, ohne Kulturland zu erreichen. Ein zweiter Arm wälzte sich durch den nördlich vom Observatorium gelegenen Fosso della Vetrana, so nahe an dem Gebäude vorbei, daß die Fensterstöcke des letztern infolge der strahlenden Hitze Feuer fingen. Unterhalb des Fosso della Vetrana teilte sich diese Lava nochmals, eine Partie wandte sich gegen die Orte Massa und San Sebastiano, von denen sie einen Teil zerstörte (s. Abbildung, S. 153), eine andre schlug die Richtung gegen San Giorgio a Cremano ein, ohne jedoch

dahin zu gelangen. Merkwürdig war es, als die Lava durch Baumgärten floß, zu sehen, wie jeder Baum, den sie erreichte, hell aufflammte und verbrannte (s. Abbildung, S. 154).

Aus dem Hauptkrater erhob sich eine ungeheure Wolke, anfangs von reinem, weißem Wasserdampfe, später färbte sie sich dunkler und dunkler und führte große Mengen von Asche und Rapilli mit sich, in Neapel fiel Asche, und der Kegel des Vesuvs wurde stark mit Asche überschüttet, ein Umstand, welcher durch die lose Beschaffenheit des Bodens die Ersteigung des Berges jetzt wesentlich erschwert. Die Abbildung auf S. 155 ist nach einer



Aschenkegel des Vesuvs vor dem Ausbruche von 1872 (nach Heim).



Aschenkegel des Vesuvs nach dem Ausbruche von 1872 (nach Heim).

in Neapel hergestellten Photographie ausgeführt; außer der riesigen Rauchwolke des Gipfels zeigt dieselbe auch sehr deutlich die den Lavaströmen entsteigenden Dampfmassen.

Die Eruption von 1872 ist fast einzig in der Schnelligkeit ihres Hereinbrechens und in der fast ebenso raschen Beruhigung der furchtbar erregten Thätigkeit; schon 24 Stunden nach der Katastrophe im Atrio hörte die Lava auf zu fließen, die Wolke lichtete sich, und der Aschenregen ließ nach. Allein so kurz die Dauer des Paroxysmus war, so erlitt der Berg doch sehr wesentliche Veränderungen, über die wir genaue Rechenschaft geben können, da zufällig ein Schweizer Geolog, Professor Heim aus Zürich, wenige Tage vor der Katastrophe genaue Zeichnungen des Vesuvs angefertigt hatte und nun nach derselben von ebendenselben Standorten aus die neue Gestalt wieder aufnahm. Der Gipfel, der sich von Neapel aus in gleichförmiger Rundung präsentiert hatte, war jetzt schräg abgestutzt

(s. Abbildungen, S. 156), die oben geschilderte Bocca auf der Außenseite war verschwunden; vom Atrio aus sah man den Spalt, der sich in der Nacht vom 25. auf den 26. April gebildet hatte, als eine Schlucht ins Innere des Berges eindringen; der Kraterrand war hier in beträchtlicher Ausdehnung eingestürzt. Als ich den Vesuv im Jahre 1878 besuchte, konnte man vom Gipfel aus über rauchende Fumarolen und von Eisenchlorid gelb gefärbte Tuff- und Lavafelsen hinabsteigen und sich der damaligen Bocca nähern, welche der Beobachtung sehr hinderliche Dampfwolken ausstieß und etwa alle fünf Minuten mit einer Detonation Steine emporwarf.

In der Zwischenzeit scheint sich um diese Bocca herum ein selbständiger Aschenkegel gebildet zu haben, aus welchem im Jahre 1880 turmartig ein Lavapfeiler hervorragte



Das Innere des Vesuvkraters im Jahre 1880 (nach einer Photographie von Sommer).

(vgl. die obenstehende Abbildung). Jetzt scheinen sich die Auswurfsprodukte höher angehäuft und den Pfeiler überschüttet zu haben; der innere Kegel dürfte schon bald die Höhe des Kraterrandes erreichen (s. Abbildung, S. 158).

Zu sehr vielen Diskussionen hat die Frage Anlaß gegeben, ob bei den Ausbrüchen Flammen auftreten; ihr Vorkommen spielt in den meisten ältern Berichten eine sehr große Rolle, sie sollen namentlich des Nachts ausgezeichnet sichtbar sein. Man hat sich jedoch allmählich überzeugt, daß das, was man gewöhnlich als Flammen betrachtet hat, nichts weiter ist als der Widerschein der im Krater fließenden, hellglänzenden Lava, welche die Dampfwolke erleuchtet und so den Anschein hervorbringt, als ob brennendes Feuer aus dem Berge emporschlüge. Wenn aber so großartige Flammenerscheinungen nicht auftreten, so darf doch deswegen das Vorhandensein solcher nicht ganz geleugnet werden; es ist jetzt eine

Anzahl wohlverbürgter Fälle bekannt, daß teils aus dem Krater, teils aus Lavaströmen und Fumarolen brennbare Gase aufsteigen, sich bei hinreichender Temperatur entzünden und Flammen erzeugen; ja, nach Siemens spielt die Entzündung brennbarer Gase, speziell von Wasserstoff, eine Hauptrolle bei den Explosionen.

Wir haben den Vesuv bis jetzt im Zustande seiner furchtbarsten Paroxysmen kennen gelernt; allein die Zwischenzeiten zwischen diesen, wenn sie auch an Gewalt der Thätigkeit sehr weit zurückbleiben, sind doch keine vollständigen Ruhepausen, wenigstens war das in den letzten Jahrhunderten kaum der Fall; es steigt immer Dampf, wenn auch oft in



Das Innere des Vesuvkraters im Jahre 1882. Vgl. Text, S. 157.

geringer Menge, auf, und fast immer sind im Krater einzelne Bocche vorhanden, die wenigstens von Zeit zu Zeit einzelne Lavafetzen oder Steine auswerfen; aus den Dämpfen, welche auch metallische Bestandteile enthalten, scheiden sich Mineralien, Eisenglanz, Chlorkupfer und verschiedene andre aus und bekleiden die Felsen mit bunten Anflügen oder mit zierlichen Kristallen. Dann wieder steigert sich die Aktion etwas, neue Schlünde öffnen sich, der Dampf nimmt zu, Asche, Steine 2c. werden geschleudert, es erscheint auch wohl ein nicht sehr bedeutender Lavastrom; aber es findet kein Ausbruch statt, der Berg ist in gemäßigter Thätigkeit, und gerade in dieser Zeit baut sich in der Regel der Krater durch die allmählich aufgeschütteten Materialien in die Höhe. In einer solchen Periode hat Scacchi von 1840 bis 1850 sehr zahlreiche Beobachtungen über den Vesuv angestellt, von welchen wir für einen kurzen Zeitraum den Wortlaut seiner Mitteilungen wiedergeben, da sie besser als irgend etwas andres uns ein Bild des Berges in diesem Stadium geben:

14. Januar 1843. Ein kleiner auswerfender Kegel im Innern des Kraters.

15. März. Drei Lavaströme aus der Basis des kleinen Kegels; Eisenglanz an den Fumarolen.

22. März. Zwei neue auswerfende Bocche an der Seite des innern Kegels.

30. Juni. Zwei Lavaströme an der Basis des innern Kegels.

15. Juli. Der innere Kegel wirft durch drei Bocche aus; Lava aus seiner Basis.

4. September. Große Längsspalte im innern Kegel; heftiger Steinauswurf; Chlorkupfer in den Fumarolen.

9. September. Neuer innerer Kegel auf den Trümmern des frühern; Lava aus seiner Basis.

13. Oktober. Der innere Kegel wirft durch drei Öffnungen (zwei an der Spitze, eine an der Ostseite) aus; Lava tritt aus der Basis hervor.

31. Oktober. Zwei Öffnungen im Innern des Kegels, von denen nur eine auswirft; Lava aus seiner Basis; schwefelsaures Kupfer an den Fumarolen.

18. November. Sechs Lavaströme aus der Basis des innern Kegels; eine Menge Eisenglanz und Chlorkupfer an den Fumarolen.

30. November. Der innere Kegel wirft durch vier Bocche aus; aus der Basis Lava, die flüssiger ist als gewöhnlich.

14. Dezember. Lavaerguß im Innern des Kraters unter Punta del Palo (höchster Punkt des Gipfels).

19. Januar 1844. Sieben Lavaströme aus verschiedenen Stellen des Kratergrundes; Zerstörung eines großen Teiles des innern Kegels.

31. Januar. Fünf Lavaströme nahe der Basis des innern Kegels; beim Entstehen des einen erfolgt Steinauswurf, ebenso aus dem innern Kegel.

27. Februar. Lava bricht 50 m vom innern Kegel aus; sehr viel Eisenglanz.

2. März. Neue Eruptionsbocca an der Südostseite des Kraters, aus welcher viele Lavabäche hervorkommen, der innere Kegel wirft durch drei Mündungen aus; lose Augitkristalle werden ausgeworfen.

5. April. Große Spalte im innern Kegel, Lavaausfluß an fünf Stellen; sehr viel Kupferoxyd.

13. April. Rauchringe[1].

22. April. Der innere Kegel wirft durch zwei Bocche aus; vier Bocche am Kraterboden, an der Basis des Kegels; große Spalte im Innern des Kraters an der Südostseite, sehr viel Eisenglanz und Gips.

6. Juli. Drei Lavaströme aus der Basis des innern Kegels; Rauchringe.

22. Juli. Rauchringe während des ganzen Tages; starkes Gebrüll; vier Lavaströme im Kraterboden; viele Spalten im innern Kegel; Mangel an Wasser in den Brunnen von Resina.

4. August. Große Stalaktiten von Kochsalz und Chlorkalium, gemischt mit Eisenchlorid.

24. August. Der Gipfel des innern Kegels ist höher als die Ränder des Kraters; zwei Lavaströme aus dem Kraterboden, lose Augitkristalle ausgeworfen.

4. September. Große Eruption von Lavafetzen aus dem Gipfel des innern Kegels.

8. September. Einsturz des Gipfels des innern Kegels; drei Lavaströme am Kraterboden.

30. Oktober. Zwei neue kleine Auswurfskegel; verschiedene Lavaströme im Kraterboden.

4. November. Die Kegel vom 30. Oktober sind zerstört; zwei neue kleine Kegel. Großer Lavastrom aus der Basis des großen Kegels.

Wir haben hier durch einen Zeitraum von fast zwei Jahren die nie rastende Thätigkeit des Berges verfolgt, aber die ganze Zeit über war die Aktion auf das Innere des Kraters beschränkt. Nur am letzten der verzeichneten Tage, am 4. November 1844, brach Lava auf der Außenseite hervor.

Vulkanische Auswurfsprodukte.

Unter den Produkten der Eruption sind entschieden die Lavaströme die auffallendsten und interessantesten, weshalb wir ihnen vor allem unsre Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Der Zustand der fließenden Laven ist ein sehr verschiedener, aber immer zeigen sie eine zähe Beschaffenheit; die dünnflüssigsten Ströme werden in ihrer Konsistenz dem Honig verglichen, aber die meisten unter ihnen besitzen weit strengern Zusammenhang ihrer Teile,

[1] Eine sehr merkwürdige Erscheinung; der Krater stößt bisweilen ringförmig Dampfwolken in die Luft, die, je höher sie steigen, einen um so riesenhaftern Durchmesser annehmen. Es ist derselbe Vorgang, wie er zu beobachten ist, wenn ein Raucher Ringe von Tabaksrauch aus dem Munde stößt.

so daß es in der Regel bedeutender Kraftanstrengung bedarf, um einen Stock in ihre Masse hineinzustoßen, ja daß ein auf diese Weise erzeugtes kleines Loch sich stundenlang erhält, ehe es sich wieder schließt. Manche Ströme werden mit halbflüssigem Mörtel verglichen, und in einzelnen Fällen, wie sie namentlich von Humboldt und Boussingault aus Südamerika erwähnt werden, scheinen sie nicht ihrer ganzen Masse nach geschmolzen gewesen zu sein, sondern vermutlich ein Haufwerk von Blöcken, gemischt mit flüssigem Magma, gebildet zu haben.

Die Schnelligkeit, mit der sich die Lavaströme bewegen, ist natürlich infolge dieser Unterschiede in der Konsistenz und ebenso nach dem Gefälle des Bodens, über den sie sich

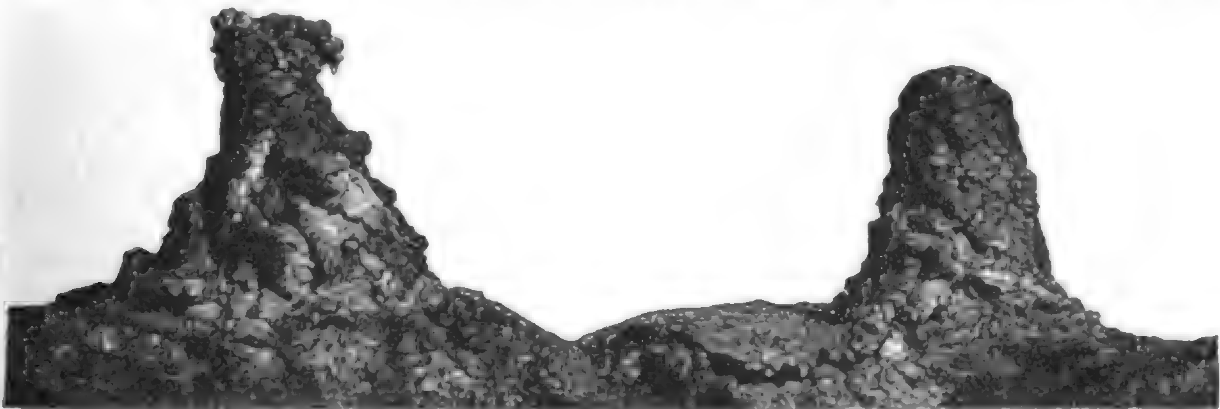


Ende eines Stromes von Blocklava aus dem Giorgioskrater auf Santorin in Griechenland (nach Fouqué). Vgl. Text, S. 161.

fortwälzen, den größten Schwankungen unterworfen. Verhältnismäßig dünnflüssige Laven auf steiler Unterlage bewegen sich sehr rasch vorwärts; ein Strom, den der Vesuv am 12. August 1805 ausstieß, „fuhr wie ein Hauch am steilen Abhange des Kegels herab" und legte in den ersten vier Minuten eine Strecke von $5^1/_2$ km zurück; von einem Strome des Mauna Loa auf Hawai wird berichtet, daß er in zwei Stunden etwa 23 km weit geflossen sei. Solche Vorkommnisse gehören übrigens zu den seltensten Ausnahmen, und selbst die Lava, welche Scrope im Jahre 1822 in 15 Minuten vom Kraterrande des Vesuvs bis zum Fuße des Kegels herabkommen sah, kann noch als abnorm schnell in ihrer Bewegung gelten. Am Ätna bezeichnet man eine Lava als schnell, die zur Zurücklegung von 1 km 2—3 Stunden braucht; gewöhnlich ist die Fortbewegung weit langsamer, und nach einiger Zeit wird dieselbe so träge, daß sie oft in einer Stunde nicht einmal 1 m beträgt.

Wenn die Lava geschmolzen den Krater verläßt, glänzt sie meist in heller Weißglut. Sie behält diesen Zustand in ihrem Innern lange Zeit hindurch bei, wie man an Stellen

deutlich bemerken kann, wo Risse in die Tiefe des Stromes zu blicken gestatten. Äußerlich aber tritt rasch Abkühlung ein, und der Strom überzieht sich sehr bald mit einer festen Decke dunkler, starrer, schlackiger Masse, die in kürzester Zeit tragfähig genug ist, um begangen zu werden, so daß man bisweilen auf dem Rücken des noch fließenden Stromes aufwärts nach dem Schlunde gelangen kann, dem er entströmt. Die erhärtete Kruste bildet geradezu einen aus Schlacken bestehenden Schlauch, durch welchen die flüssige Masse sich weiterbewegt. Auch die Stirn bedeckt sich in derselben Weise mit einer schwarzen, erstarrten Rinde, und indem der Strom vorrückt, drückt er diese Kruste zu Boden und läuft über dieselbe hin, indem sich gleichzeitig neue Schlacken am Vorderrande bilden. So kommt es, daß, abgesehen von den Fällen sehr schnellen Vorrückens, der Strom sich immer auf einer Unterlage von schon erstarrter Lava hinbewegt, die durch das fortwährende Abwerfen und Hinunterschieben der erstarrten Stirnmassen entsteht. Ein solcher Strom bietet ein seltsames Aussehen; Poulett Scrope vergleicht seine Vorderseite mit einem ungeheuern Haufen großer Kohlenstücke, welche



Spratzkegel von Bleiglätte aus dem Hüttenwerke von Přibram in Böhmen. Vgl. Text, S. 163.

durch die Wirkung eines langsamen Nachdrängens von hinten übereinander fortrollen. Die Bewegung ist von einem krachenden metallischen Geräusche begleitet, das durch die Zusammenziehung, das Zerspringen und die Reibung der einzelnen Teile gegeneinander erzeugt wird.

Die erstarrte Decke der Ströme ist übrigens sehr weit davon entfernt, eine ziemlich ebene und gleichmäßige Oberfläche darzubieten; im Gegenteile, es entstehen in derselben zahlreiche Risse, noch flüssige Lava schiebt sich oft durch dieselben heraus, die einzelnen Blöcke und Schollen, in welche die ursprüngliche Decke sich zerklüftet, werden wild übereinander geschoben, ähnlich wie die Eisblöcke, wenn sich in unsern Flüssen bei beginnendem Tauwetter ein Eisstoß stellt. Man kann sich keinen wildern und trostlosern Anblick der entsetzlichsten Zerstörung denken, als ihn der Rücken eines solchen Stromes von Blocklava darstellt (s. Abbildung, S. 160). Noch bizarrer vielleicht in ihren Formen sind die sogenannten Gekröselaven, welche zwar weit seltener auftreten als jene, aber gerade den Besuchern des Vesuvs sehr wohl bekannt sind, weil die Fahrstraße von Resina nach dem Observatorium auf eine längere Strecke durch solche Gebilde führt, die vom Ausbruche des Jahres 1855 herrühren. Bei solchen Strömen zerfällt die Decke nicht in Schollen, sondern bildet eine zusammenhängende Masse, deren Oberfläche die seltsamsten gekröseartigen Windungen und Auftreibungen, in unglaublicher Weise übereinander geschoben, aufweist (s. Abbildung, S. 162).

Wir haben bei einer frühern Gelegenheit (s. S. 80) gesehen, daß geschmolzene Massen die Fähigkeit haben, Gase zu absorbieren, die dann beim Erkalten und Festwerden wieder entweichen. Die Laven haben an dieser Eigenschaft Anteil; sie führen ungeheure Mengen namentlich von Wasserdampf, aber auch von andern Gasen, die anfangs aus dem Strome seiner ganzen Ausdehnung nach aufsteigen, später nur noch aus einzelnen Spalten und



Gekröselava des Vesuvs (nach einer Photographie). Vgl. Text S. 161.

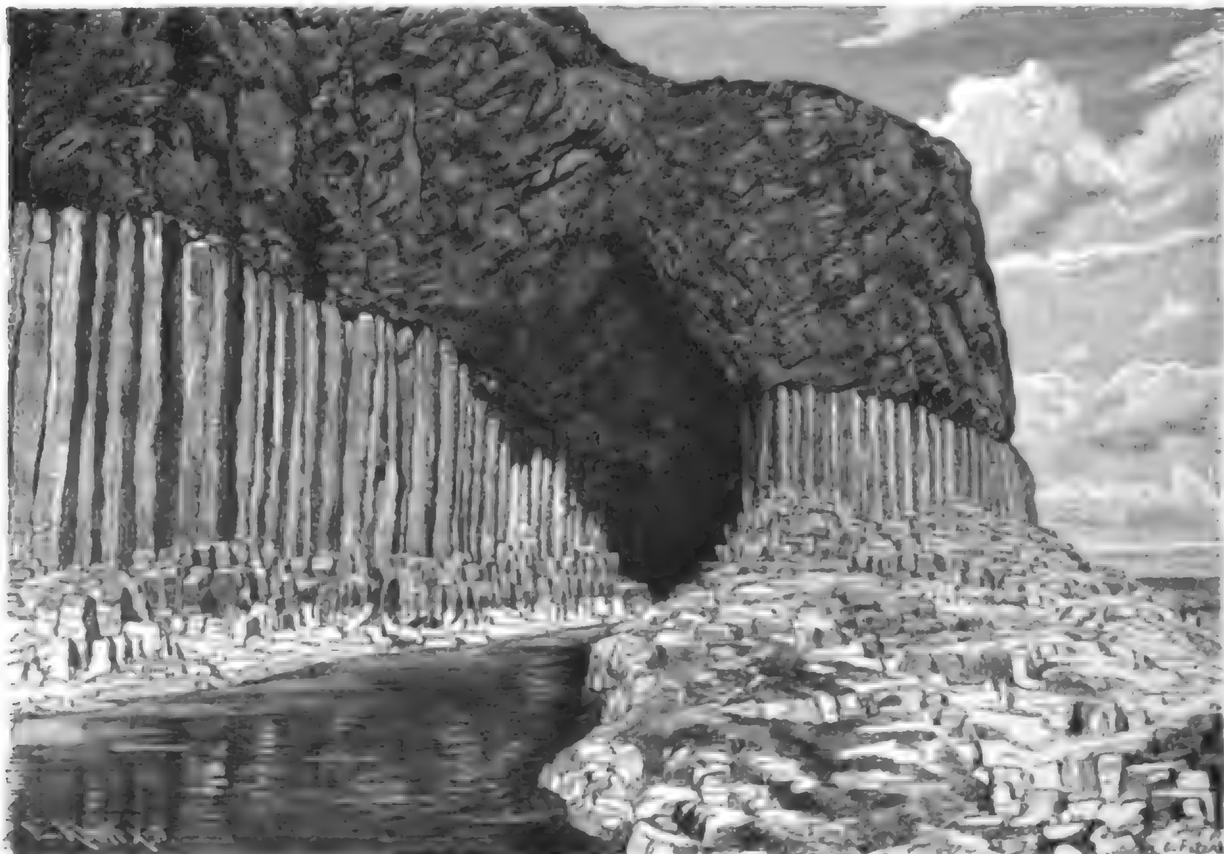
Öffnungen der Oberfläche als sogenannte Fumarolen entweichen. Dabei werden von den stürmisch hervorbrechenden Dämpfen Fetzen noch flüssiger Lava mit heraufgerissen, sie fliegen in die Luft und fallen dann wieder zur Ausbruchsstelle der Fumarole herab, um welche sie sich oft zu hohen Schornsteinen aufbauen (s. Abbildung, S. 95), in derselben Weise, wie das mit geschmolzener Bleiglätte der Fall ist, wenn sie auf eine nasse und kalte Unterlage ausgegossen wird (s. Abbildung, S. 161). Außer dem Wasserdampfe treten aber noch mannigfache andre Gase auf, Dämpfe von Salzsäure, Salmiak, Eisenchlorid, schwefliger Säure, Kohlensäure ꝛc. In noch weit höherm Maße finden solche Ausströmungen aus dem Krater statt.

Von besonderm Interesse sind dabei jene Absätze und Mineralbildungen, welche durch Verdichtung der Dämpfe oder einzelner ihrer Bestandteile entstehen, die sogenannten „Sublimationsprodukte“. Am häufigsten und verbreitetsten sind von diesen: Kochsalz, Salmiak und Eisenchlorid, und namentlich das letztere muß jedem Besucher auffallen durch die grelle, brennend gelbe Färbung (weshalb es von den Touristen irrig meist für Schwefel gehalten wird), mit der es einen Teil des Gipfels und namentlich der Kraterwände überzieht. Das Eisenchlorid zersetzt sich oft mit Wasserdampf zu Salzsäure und Eisenoxyd, und dieses setzt sich dann in Form zierlicher Eisenglanzkriställchen fest. Auch andre Chloride schwerer Metalle treten als Sublimationsprodukte auf, namentlich Blei- und Kupferchlorid, deren Bildung auf diesem Wege als Fingerzeig für die Erklärung mancher Erzgänge in ältern Massengesteinen benutzt worden ist. Von ganz besonderer Bedeutung ist aber die zuerst von Scacchi entdeckte und dann von G. vom Rath bestätigte Thatsache, daß auf demselben Wege, durch Verdichtung von Bestandteilen der Dämpfe, sich auch kieselsaure Verbindungen, Silikate, bilden und unter diesen manche der in Massengesteinen häufigsten und für ihre Zusammensetzung wichtigsten Mineralien, wie Kalifeldspat (Sanidin), Augit, Glimmer (Biotit) und andre.

Wie lange die Lavaströme zu ihrer Erkaltung brauchen, können wir noch nicht sagen; selbstverständlich herrschen je nach der Masse, der Mächtigkeit, der Struktur und dem Grade der ursprünglichen Hitze die größten Verschiedenheiten. In einzelnen Fällen scheint die Sache sehr rasch vor sich zu gehen; es wird z. B. von einem Strome des Vesuvs aus dem Jahre 1832 berichtet, der nach zwei Monaten ganz erkaltet war. Dagegen weiß man von andern Strömen, die zwei Jahre hindurch im Vorrücken waren. Oft erhält sich jahrelang ganz nahe an der Oberfläche eines Stromes so hohe Temperatur, daß ein in eine Spalte gestecktes Stück Holz sofort zu brennen anfängt; dies war z. B. bei meinem ersten Besuche des Vesuvs, im Jahre 1876, mit einer nach der Angabe des Führers vier Jahre alten Lava der Fall, aber nicht mehr im Jahre 1878, als ich den Berg wieder besuchte. Manche Ströme bleiben viele Jahre hindurch in Fumarolenthätigkeit. Am Jorullo in Mexiko beobachtete Humboldt, daß Quellen, welche durch die 46 Jahre früher ausgeflossene Lava ihren Weg nahmen, noch eine Temperatur von 54° hatten, und für die Ergüsse der gewaltigsten Art werden wir noch viel längere Zeiträume bis zur vollständigen Erstarrung annehmen müssen; der Skaptarjökull auf Island hat im Jahre 1783 in zwei Strömen eine Lavamasse ergossen von einem Volumen, welches größer ist als dasjenige des Montblanc, und es ist im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß diese Riesenmasse in den hundert Jahren seit ihrem Austritte schon durch und durch erkaltet sei.

Wir haben gesehen, daß die Ströme an ihrer Oberfläche sehr rasch erkalten, daß sich eine feste Kruste bildet, in welcher, wie in einem Schlauche, die noch flüssige Masse sich weiterschiebt. Wenn nun die Lava spärlicher zu rinnen anfängt, so kommt es oft vor, daß sie den Hohlraum nicht mehr ausfüllt; dann senkt sich in der Regel die nicht genügend unterstützte Decke allmählich herab, und zwar natürlich in der Mitte stärker als an den Seiten, so daß dann die Ränder solcher Ströme den zentralen Teil überragen und der Querschnitt eine konkave Oberfläche zeigt, während sonst die Lava-Ergüsse, wie

jede zäh fließende Masse, konvex gewölbt sind. Ist jedoch, was allerdings nicht häufig vorzukommen scheint, die feste Decke schon mächtig und konsistent genug, um ihr eignes Gewicht zu tragen und nicht nachzusinken, so entstehen Hohlräume unter derselben, und ohne Zweifel sind z. B. die merkwürdigen **Lavagrotten** Islands, die zu den Hauptsehenswürdigkeiten der Insel gehören, auf diesen Vorgang zurückzuführen. Die bekannteste unter ihnen, die Surtshellir („schwarze Höhle") bei Kalmanstunga, die in einem ungeheuern Lavafelde eingebettet ist, hat eine Länge von etwa 1600 m bei einer Breite von 16 bis 18 m und einer Höhe von 11 bis 12 m und enthält außer dem Hauptgange eine Anzahl von Nebenkammern. Die Wände sind von glasigen Erstarrungsprodukten glänzend bekleidet,



Die Fingalshöhle auf Staffa (nach einer Photographie). Vgl. Text, S. 166.

von der Decke hängen prachtvolle Stalaktiten von Lava herab, und die Seiten sind mit Längsstreifen, den Anzeichen des Durchströmens noch flüssiger Massen, wie kanneliert.

Wohl als die gewaltigste Erscheinung, welche auf dieselbe Ursache zurückzuführen ist, verdient das Thal von Thingvalla in Island genannt zu werden. Es ist das eine fast eine Meile lange ebene Einsenkung, ein weiter Thalboden in einem riesigen Lavafelde, von senkrechten Wänden abgeschlossen und abgegrenzt von einem Systeme senkrechter Klüfte, von denen namentlich die Almannagja („Allmännerkluft") und Hrafnagja („Rabenkluft") durch ihre großartige Entwickelung ausgezeichnet sind. Nach allen Berichten über diese wunderbare Thalsenkung hat man es mit einem riesigen Einbruche der Decke eines Stromes in den unterliegenden Hohlraum zu thun.

Rasch erstarrte Lava zeigt keine oder wenigstens keine klar ausgesprochene Absonderung nach bestimmten Richtungen, dagegen finden wir solche sehr häufig und in der deutlichsten Weise entwickelt sowie in auffallendster Form in den tiefern und daher langsamer erkalteten Teilen von Strömen oder in Gängen, welche sehr allmählich fest geworden sind.

An den jüngsten Produkten heute noch thätiger Vulkane können wir allerdings aus sehr naheliegenden Gründen nicht erwarten, diese Partien aufgeschlossen zu finden; um sie kennen zu lernen, müssen wir uns ältern vulkanischen Herden zuwenden, Punkten, an denen die Denudation, die Abtragung durch Verwitterung ꝛc., weit genug vorgeschritten ist, um uns einen Einblick in das Innere selbst der mächtigsten Ströme zu gewähren. Die merkwürdigste und bezeichnendste Erscheinung, die hier auftritt, ist die säulenförmige Absonderung, welche sehr allgemein bei Basalten, seltener bei trachytischen Gesteinen vorhanden ist. Die Größe und die Verhältnisse solcher Säulen sind überaus großen Schwankungen unterworfen,



Säulenbasalte vom Rio Colorado (Nordamerika). Vgl. Text, S. 166.

man kennt Vorkommnisse, welche 100—150 Fuß lang sind und dabei nur 8 oder 9 Zoll Durchmesser haben; ja, am Baulaberge auf Island kommen Säulen von Fingerstärke vor, während andre bis zu 9 Fuß dick sind. Die Ursache dieser merkwürdigen Bildung kann gewiß nur in der Zusammenziehung bei der Erkaltung der Lava gesucht werden. Die Masse ist häufig zu lauter dicht aneinander gedrängten polygonalen und zwar am häufigsten zu sechsseitigen Säulen zerklüftet, welche in der Tiefe des Stromes senkrecht zur Oberfläche stehen, während der höher gelegene Teil keine Spur der Erscheinung erkennen läßt oder nur eine rohe und unvollkommene Absonderung zu Prismen in unregelmäßiger Lagerung zeigt, welche gewöhnlich senkrecht zu einzelnen Hauptklüften gerichtet ist. Die Grenze zwischen diesen beiden so verschieden ausgebildeten Partien ist in der Regel sehr deutlich, so daß man auf den ersten Blick zwei verschiedene Ströme vor sich zu sehen glaubt, von denen der eine über den andern hinweg seinen Lauf genommen hat. Aber bei genauerer Untersuchung erkennt man doch, daß der Zusammenhang ein inniger und untrennbarer ist, so daß man mit Sicherheit sagen kann, die beiden Lagen gehören einem Strome an und stellen nur die

verschieden ausgebildeten Teile desselben dar. Dieses Verhältnis zeigt uns die Abbildung (S. 164) der Fingalshöhle auf Staffa an der schottischen Küste. Die ganze Basaltpartie stellt einen Teil eines zerstörten Stromes dar, in welchem die untern Partien ausgezeichnet säulenförmig abgesondert sind, während der obere Teil durchaus massiv ist.

Ein schönes Beispiel für das Auftreten einer säulenförmig abgesonderten Basaltdecke zeigt die Abbildung, S. 165, welche eine Landschaft vom Rio Colorado in Nordamerika darstellt. Ein nicht sehr dicker Strom von eruptivem Materiale hatte sich über die Gegend ausgebreitet, ehe noch ein Thal an dieser Stelle vorhanden war; neue Ablagerungen deckten sich darüber, und als nun in späterer Zeit ein Fluß hier sein Bett eingrub, legte er hoch oben an den Gehängen einen Schnitt durch die Basaltdecke bloß.



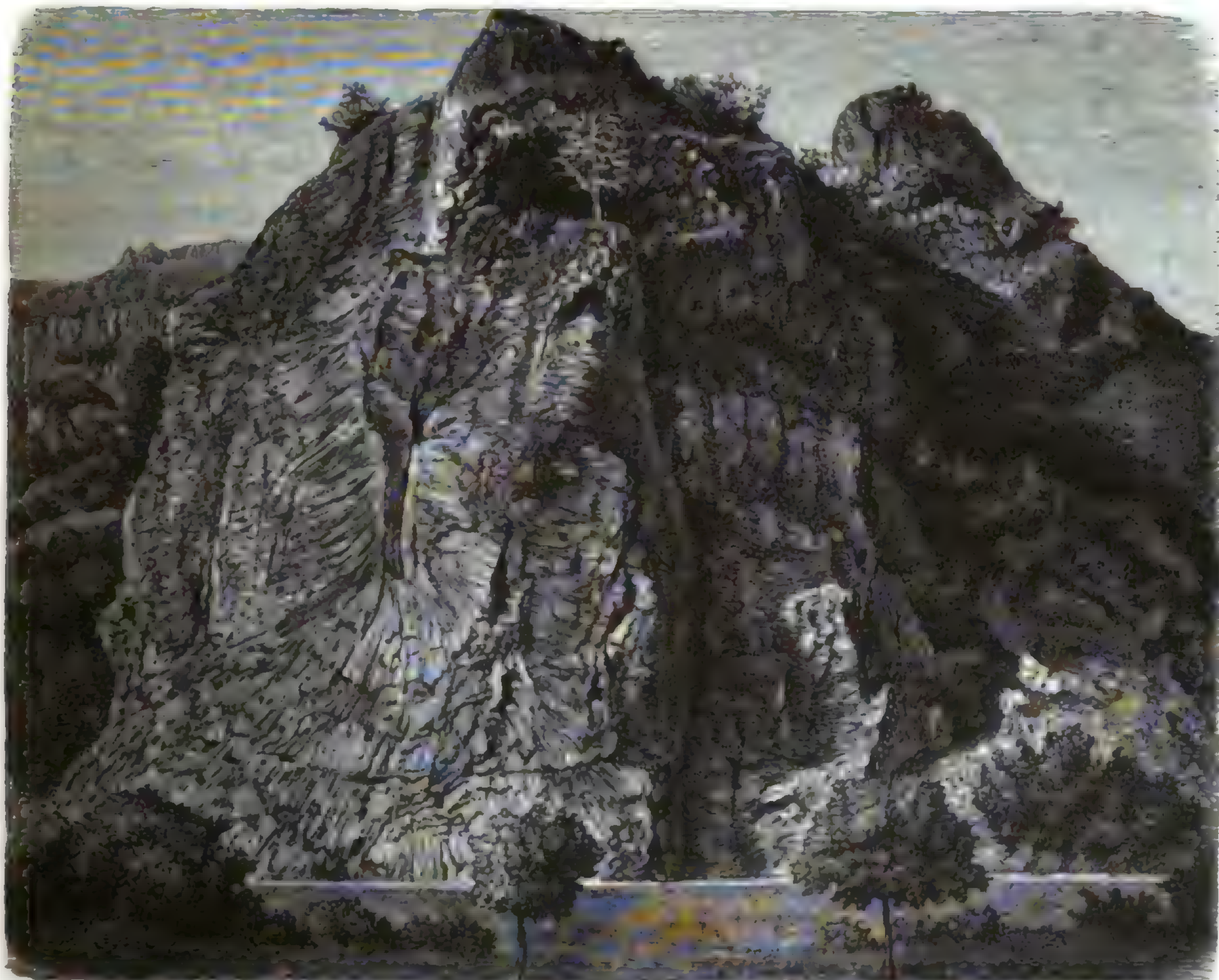
Senkrechte Trachytsäulen von Motu Roa auf Neuseeland (nach Hochstetter).

Auch in Lavagängen tritt die Säulenbildung häufig auf, doch ist dann ihre Anordnung eine verschiedene. Auch hier stellen sich die einzelnen Prismen senkrecht zur abkühlenden Fläche, allein diese ist in diesem Falle nicht, wie bei den Strömen, eine horizontale, sondern sie wird von den senkrechten oder geneigten Wänden des Ganges aus gebildet; infolgedessen gehen von einer Mittellinie im Zentrum nach beiden Seiten die Säulen aus, sie stehen oft schräg, so daß sie wie die Fahne einer Feder angeordnet sind. Diese Stellung der Säulen gestattet auch in sehr vielen Fällen die nach andern Kriterien oft sehr schwierige Entscheidung, ob man es in einer durch Denudation isolierten Partie eines vulkanischen Gesteines mit den Überresten eines Ganges oder einer Decke (eines Stromes) zu thun hat. Wenn wir z. B. die aus senkrechten Säulen bestehenden Inseln von Motu Roa an der neuseeländischen Küste betrachten (s. obenstehende Abbildung), so finden wir in denselben die charakteristische Lagerung eines Stromes, während der aus den fiederstelligen Säulen

aufgebaute Humboldtfelsen im Elbthale bei Aussig in Böhmen (s. untenstehende Abbildung) als ausgezeichnetes Beispiel der Gangstruktur gelten kann.

Eine andre eigentümliche Erstarrungsform ist die sphäroidische, bei welcher das ganze Gestein sich in Kugeln absondert, welche selbst wieder aus lauter konzentrisch umeinander gelagerten Schalen bestehen. Bisweilen sieht man diese sphäroidische Anordnung aus der säulenförmigen sich entwickeln oder in dieselbe übergehen; bisweilen auch kann man plattenförmige Absonderung beobachten.

Auch in der feinern Struktur sind die erstarrten vulkanischen Produkte sehr verschieden. Manche Ströme sind ganz und gar glasig, und zwar sind es in den meisten Gegenden



Fiederstellige Basaltsäulen des Humboldtfelsens bei Aussig an der Elbe in Böhmen.

trachytische Laven, welche diese Eigentümlichkeit haben. Diese bilden glasige, stark glasglänzende Massen mit muscheligem Bruche, der schneidend scharfe, an den Kanten durchscheinende Bruchstücke ergibt; die Farbe ist am häufigsten tief schwarz, seltener dunkelbraun, gräulich oder grünlich. Es sind das die Obsidiane, welche allerdings keine reinen Gläser sind, sondern meist unter dem Mikroskope ungeheure Mengen winzigster Kriställchen in der Grundmasse zeigen. In Europa sind namentlich auf den Liparischen Inseln, nördlich von Sizilien, Obsidianströme vorhanden, ferner in sehr reichem Maße auf Island; außerdem sind Armenien, die Kanaren, einzelne der westindischen Inseln, Mexiko und Java als Gegenden zu nennen, in welchen kieselsäurereiche Laven glasig erstarrt sind. Im ganzen aber zählen doch solche Ströme zu den seltenen Ausnahmen, auch können wir über die Ursachen der Erscheinung keine hinreichende Rechenschaft geben. Jedenfalls erscheint die bisweilen geäußerte

Auffassung, daß die Schnelligkeit der Erstarrung das wesentlich Entscheidende sei, dem Vorkommen sehr mächtiger, ganz aus Obsidian bestehender Ströme gegenüber nicht haltbar. Kieselsäurearme basaltische Laven erstarren, wie man wenigstens bis in die letzte Zeit allgemein glaubte, nur ausnahmsweise zu obsidianartigem Glase. An basaltischen Gängen bestehen bisweilen die schmalen, an das Nebengestein sich anschließenden Randzonen, die sogenannten Salbänder, aus basaltischem Glase, dem man den Namen Tachylyt gegeben hat, und in einem Falle, an einem basaltischen Lavastrome an der Gueule de l'Enfer an der Ardèche in Zentralfrankreich, ist beobachtet worden, daß der unterste, älterm Gesteine (Gneiß) unmittelbar aufgelagerte Teil dieselbe Beschaffenheit zeigt. Es lag unter diesen Umständen die Vermutung nahe, daß das basaltische Magma im allgemeinen weniger geneigt und befähigt sei, glasig zu erstarren; allein die neuern Untersuchungen von Cohen haben ergeben, daß, wie schon früher durch Brigham angedeutet worden war, an den Vulkanen der Inseln im Stillen Ozeane basaltische Gläser in großer Verbreitung und in bedeutenden Massen vorkommen.

Sehr viel häufiger als die glasigen sind kristallinisch-körnig erstarrte Laven. Die oberflächlichen Teile der Ströme lassen allerdings diese Beschaffenheit in der Regel nicht deutlich erkennen, sie sind meist von blasig-schlackiger Beschaffenheit, und da man sehr viel leichter von dieser Hülle Proben erhalten kann, so gehören auch die Stücke, die man in den Sammlungen findet, der Mehrzahl nach diesem Typus an. Aber in der Tiefe der Ströme tritt die kristallinische Struktur in der Regel in trefflicher Entwickelung hervor, so daß ein Unterschied zwischen solchen Laven und ältern Massengesteinen der Trachyt- und Basaltfamilie kaum angegeben werden kann.

Schon mehrfach wurde auf die Abweichungen in der Zusammensetzung der Laven hingewiesen, und es war die Rede von trachytischen und basaltischen Vorkommnissen; in der That bezeichnet der Name Lava nicht eine in chemischer und mineralogischer Beziehung bestimmt charakterisierte Felsart, sondern lediglich die Entstehung aus geschmolzenem Materiale, das einem Krater entstiegen ist. „Alles ist Lava, was im Krater fließt und durch seine Flüssigkeit neue Lagerstätten einnimmt", lautet die Definition von Leopold v. Buch. Immerhin ist es eine ziemlich beschränkte Zahl von Gesteinen, denen die Laven sich anreihen: es sind vorwiegend Gesteine der Trachyt- und Basaltfamilie und der zwischen beiden Typen in der Mitte stehenden Abänderungen. Daneben kommen allerdings noch einzelne andre Felsarten vor, die durch ihren Gehalt an gewissen Mineralien, Leucit, Nosean, Nephelin &c., ausgezeichnet sind. Übrigens sind die beiden Typen der Trachyte und Basalte nicht nur in chemischer und mineralogischer Zusammensetzung verschieden, sondern auch der physiognomische Charakter der von ihnen gebildeten Ströme zeigt Differenzen. Die Basaltmassen sind viel mehr geneigt, sich weit auszubreiten, über große Strecken zu fließen, während die Trachytlaven zähere Konsistenz zu besitzen scheinen und mehr kompakt-massig beisammen bleiben. Bei den erstern findet man sowohl in den neuern als in den ältern Vorkommnissen die Deckenform besonders häufig entwickelt; der oben erwähnte riesige Strom des Skaptarjökull auf Island, welcher viele Quadratmeilen bedeckt, ist basaltischer Natur, und fast in jeder vulkanischen Gegend findet man diese Regel bestätigt, während die Trachyte kürzere, breitere, stärker gewölbte Formen bilden.

Die einzelnen Vulkane bleiben sich in der Beschaffenheit ihrer Laven durchaus nicht gleich. Aus manchen ist allerdings, solange sie thätig sind, nur eine Art von Gesteinen hervorgegangen, aber von einer sehr großen Menge unter ihnen wissen wir, daß sie sowohl basaltische als trachytische Produkte geliefert haben; einzelne, wie z. B. Hekla und Krafla auf Island, bringen bald die eine, bald die andre Gruppe von Gesteinen hervor. Weit häufiger aber ist eine gewisse Regelmäßigkeit in der Weise eingehalten, daß in einer frühern Hauptperiode die eine, in einer spätern die andre Art von Laven erscheint, wobei gewöhnlich die

trachytischen Gesteine den basaltischen vorangehen. So ist es auch der Fall beim Vesuv, an welchem die alten Partien, die Somma, der Hügel, auf dem das Observatorium steht, ꝛc., aus kieselsäurereichen Gesteinen bestehen, während alle neuern Eruptionen kieselsäurearme Produkte, namentlich die Leucitgesteine, liefern. Dieselbe Reihenfolge läßt sich noch an vielen Punkten beobachten, doch wird die Sache häufig dadurch verwickelter, daß nach der basaltischen Periode oft noch eine zweite, kleinere Zeit der Trachytergüsse stattfindet.

Wenn wir so in sehr vielen Vulkangebieten die Produkte, welche zu Tage gefördert werden, einem Wechsel unterworfen sehen, so drängt sich uns unmittelbar die Frage nach der Ursache dieser Erscheinung auf. Offenbar müssen in der Tiefe, aus welcher die Laven herstammen, die zweierlei Materialien voneinander gesondert sein, sie müssen verschiedene Lagerstätten einnehmen; eine und dieselbe vulkanische Esse wird also zu verschiedenen Zeiten aus verschiedenen Herden, wie wir ganz allgemein sagen können, gespeist. Man nimmt vielfach und mit guten Gründen an, daß vorzüglich zwei Herde in den einzelnen Fällen vorhanden seien, von denen der eine die kieselsäurereichsten, der andre die kieselsäureärmsten Gesteine hervorbringt, während Mittelglieder aus einer Mengung beider entstehen. Diese Idee ist namentlich durch die scharfsinnigen Untersuchungen **Bunsens** über die Laven Islands angeregt und begründet worden; er zeigte, daß auf dieser Insel in großer Verbreitung extreme Gesteine der einen und der andern Kategorie auftreten, welche er normaltrachytische und normalpyroxenische (besser normalbasaltisch zu nennen) Gesteine nennt. Dieselben haben folgende chemische Zusammensetzung:

Kieselsäure	76,67	Normaltrachyt,	48,47	Normalbasalt,
Thonerde und Eisenoxydul	14,23	"	30,16	"
Kalk	1,44	"	11,87	"
Magnesia	0,28	"	6,89	"
Kali	3,20	"	0,65	"
Natron	4,18	"	1,96	"
	100,00		100,00	

Bei Untersuchung der übrigen im Kieselsäuregehalte zwischen diesen in der Mitte stehenden Gesteine ergab sich nun, daß sie bis auf kleine Abweichungen alle als aus einer Mischung normaltrachytischer und normalbasaltischer Substanz entstanden gedacht werden können und in dem Prozentverhältnisse der einzelnen Bestandteile dieser Annahme genau entsprechen. Findet man z. B. in einem Gesteine bei der Analyse 53,08 Prozent Kieselsäure, so würde das einer Zusammensetzung aus 1 Teile Trachytmasse und aus 5,117 Teilen Basaltmasse entsprechen. Man kann nun berechnen, wieviel Thonerde und Eisenoxyd, Kalk, Magnesia ꝛc. das betreffende Gestein der Theorie nach haben muß, und dies mit den thatsächlichen Ergebnissen der Analyse vergleichen, wie es in folgender Tabelle geschieht:

Chemische Bestandteile	I.		II.		III.	
	gefunden	berechnet	gefunden	berechnet	gefunden	berechnet
Kieselsäure	51,75	51,75	53,08	53,08	73,37	73,37
Eisenoxydul und Thonerde .	28,31	28,39	27,57	28,70	16,09	17,25
Kalk	10,65	10,49	10,16	9,92	2,66	2,49
Magnesia	6,13	5,90	5,81	5,32	1,05	1,52
Kali	0,96	1,01	1,06	0,61	2,90	3,01
Natron	2,20	2,46	2,32	2,37	3,93	2,35
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

I. Gestein vom Reygadalr Foß bei Hvammr (1 Trachyt, 7,597 Basalt). — II. Gestein von Kalmanstunga (1 Trachyt, 5,117 Basalt). — III. Phonolith vom Klettaberge bei Kalmanstunga (1 Trachyt, 0,1325 Basalt).

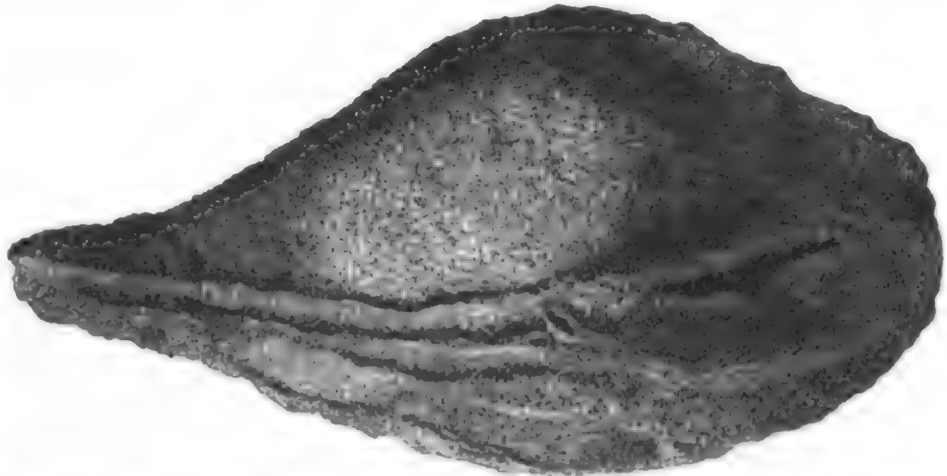
Diese wirklich in hohem Grade merkwürdige Übereinstimmung wiederholt sich in allen isländischen Massengesteinen, ja selbst sehr viele Massengesteine aus andern Gegenden, z. B. die von Abich untersuchten aus dem armenischen Hochlande, unterliegen demselben Gesetze, während allerdings auch Gesteine vorkommen, welche dieser Regel nicht folgen und z. B. mehr als 76,87 Prozent Kieselsäure enthalten. Es geht daraus jedenfalls so viel hervor, daß es unzulässig ist, alle Massengesteine der Erde auf die zwei Bunsenschen Gesteinstypen unmittelbar zurückführen zu wollen; dagegen darf man die Annahme von zwei Hauptherden für die isländischen Vorkommnisse als erwiesen halten. Es ist auch sehr wahrscheinlich, daß alle Massengesteine jedes einzelnen Distriktes sich in derselben Weise untereinander verhalten und sich auf zwei Grundtypen zurückführen lassen, die in ihrer Zusammensetzung für verschiedene Gegenden gleich oder verschieden sein können.

Wir haben bisher nur ganz allgemein von zwei verschiedenen Herden gesprochen, ohne irgend eine speziellere Vermutung über deren Beschaffenheit und Lage oder über Art und Weise der Mischung ihrer Produkte zu äußern. Es ist natürlich schwierig, darüber eine Ansicht zu äußern; doch kann wohl unter den verschiedenen Hypothesen diejenige, welche Sartorius von Waltershausen aufgestellt hat, die größte Wahrscheinlichkeit für sich in Anspruch nehmen. Nach der allgemeinen Annahme war die Erde ursprünglich eine geschmolzene Kugel, in welcher bei der Abkühlung verschiedene Substanzen sich nach ihrem spezifischen Gewichte näher oder ferner dem Mittelpunkte lagern, so daß die schwersten Materialien das Zentrum einnehmen, während die leichtern sich der Reihenfolge nach in Kugelschalen um die innern Teile gruppieren. Da nun von den Substanzen, welche man als vertreten annehmen darf, die kieselsäurereichen Silikate (Normaltrachyte) am leichtesten sind, so würden sie die äußerste Kugelschale der primitiven Erde darstellen, während die kieselsäurearmen Silikate (Normalbasalte) eine tiefere Schale ausmachen würden; die beiden Herde würden also untereinander liegen, eine trachytische Eruption hätte ihren Ursprung in geringerer, eine basaltische in größerer Tiefe. Die Mischung beider wird dadurch bewirkt sein, daß auf der Grenze zwischen dem Lager der trachytischen und basaltischen beiderlei Typen sich gemengt haben und ineinander übergehen. Es kann aber auch der Fall gedacht werden, daß basaltische Masse beim Aufsteigen aus der Tiefe trachytisches Material mitreißt. Diejenigen Fälle, in welchen die Produkte einer und derselben Eruption nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach homogen, sondern in verschiedenen Partien verschiedenartig zusammengesetzt sind, können so erklärt werden, daß die Mengung der beiderseitigen Materialien keine ganz gleichmäßige war, und daß in einer geschmolzenen Masse sich „Schlieren" von verschiedenartigem Charakter nicht vollständig durchdrungen haben.

Neben den Laven sind es die losen Auswürflinge der Vulkane, die uns interessieren. Die größern Stücke, welche ausgeschleudert werden, heißen Bomben, die kleinen Stückchen Lapilli oder Rapilli; Sand umfaßt die kleinkörnigen Bestandteile, während als Asche die feinsten, staubartigen Produkte bezeichnet werden. Der Ursprung dieser Materialien kann doppelter Art sein. Oft stürzen größere oder kleinere Teile des vorhandenen Kegels bei einer neuen Eruption in den Krater, sie werden dann zerkleinert, emporgeschleudert, ausgeworfen, so daß bisweilen der alte Kegel geradezu in die Luft geblasen wird. Aber doch liefern die Trümmer des alten Walles in der Regel gewiß nur einen geringen Teil des lose ausgeworfenen Materiales; die Hauptmasse besteht aus dem geschmolzenen Gesteine, das aus der Tiefe herauskommt und durch die gewaltigen Dampfexplosionen zerstäubt wird „wie Wasser, das man aus einer Pistole schießt". Zahlreiche Erscheinungen beweisen dies, vor allen die bekannten „gedrehten Bomben" (s. Abbildung, S. 171), Lavastücke, die in geschmolzenem Zustande aus dem Krater ausgeworfen werden und während des

Fluges durch die Luft mehr oder weniger erhärten, dabei aber infolge der rotierenden Bewegung eine spiralig gedrehte Oberflächengestalt annehmen. Die losen Auswürflinge übertreffen bei der Mehrzahl der Eruptionen die gleichzeitig ausfließenden Laven sehr bedeutend an Masse. Geschieht die Eruption unterseeisch, oder fallen die lockern Produkte ins Meer, so bilden sie hier normal geschichtete Sedimente von vulkanischen Tuffen, welche häufig die Reste von Meerestieren umschließen; die ganze Campagna Felice von Neapel besteht aus solchen Gesteinen, die allerdings nicht auf den Vesuv zurückgeführt werden können, sondern, wie Abich gezeigt hat, teils aus den Phlegräischen Feldern, teils aus der weiter nördlich gelegenen Rocca Monfina, einem erloschenen Feuerberge, stammen.

Noch ist aber unter den Auswürflingen mancher Vulkane und ganz besonders unter denjenigen des Vesuvgebietes ein ganz andres und höchst merkwürdiges Element zu erwähnen, die „fremden Blöcke“. Es sind das Gesteinstrümmer, welche die aufsteigende Lava von den anstehenden Felsarten, die sie auf ihrem Wege aus der Tiefe zur Kratermündung durchsetzt, losgerissen, emporgeführt und dann bei den Explosionen mit ausgeschleudert hat. Am Vesuv selbst, am jüngern Kegel, finden sich solche fremde Blöcke selten, in den neuern Ausbrüchen fehlen sie fast ganz; dagegen hat der alte Vesuv, der Monte Somma, in seinen vorhistorischen Eruptionen zahlreiche solcher Blöcke ausgeschleudert, welche teils aus jungen Meeresbildungen mit Muschel- und Schneckenschalen, teils aus dem weit ältern lichtgrauen Kalke der Kreideformation bestehen, wie sie im Apennin und in den Sorrentiner Bergen massenhaft auftreten und offenbar auch in der Tiefe unter dem Vesuv vorhanden sind. Die Kalke haben vielfach bedeutende Veränderungen erlitten, viele Stücke sind ganz in kristallinischen Marmor umgewandelt, und durch die Einwirkung der aus Silikaten bestehenden Lava auf den kohlensauren Kalk hat sich in den Blöcken eine Reihe interessanter und oft prachtvoll kristallisierter Mineralien gebildet, wie Spinell, Humit, Augit, Hornblende, Granat, Vesuvian, Mejonit, Zirkon, Titanit und viele andre, welche den Vesuv zu einem der berühmtesten Fundorte für Mineralien gemacht haben.


Eine „gedrehte Bombe“ vom Vesuvausbruche des Jahres 1872. Vgl. Text, S. 170.

Erhebungs- und Aufschüttungstheorie.

Wenn wir den Kegel des Vesuvs besteigen, oder wenn wir in einen Riß desselben hineinklettern, welcher einen tiefen Einblick ins Innere der Bergflanken gestattet, so sehen wir, daß diese ganz aus denselben Produkten gebildet sind, wie sie der Krater bei jedem Ausbruche liefert. Lose Aufschüttungen von Schlacken, Rapilli, Sand und Asche wechseln mit erstarrten Lavaströmen; sie werden durchkreuzt von Lavagängen, den Ausfüllungen von Spalten, die sich in den Wänden des Berges gebildet haben. Wir sehen überdies, daß in

Zeiten gemäßigter Thätigkeit die Aufschüttung von Auswurfsprodukten den Kegel immer höher aufbaut, und daß auf diesem Wege die oft sehr bedeutenden Verluste, welche der Gipfel bei heftigen Ausbrüchen erleidet, in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder ersetzt werden. Diese unter unsern Augen neugebildeten Teile unterscheiden sich weder im Materiale noch in der Lagerung von den ältern Partien des Kegels, und so dürfen wir mit voller Sicherheit schließen, daß dieser seit dem Jahre 79 lediglich aus Eruptionsprodukten aufgeschüttet worden sei.

Der Monte Somma hat in historischer Zeit keinen sicher beglaubigten Ausbruch gehabt; daß aber dieser den Kegel des Vesuvs im Halbkreise umgebende Wall den stehen gebliebenen Rest eines alten Kraters darstellt, ist eine sicher feststehende Thatsache. Auch die Somma besteht aus übereinander gehäuften Massen von Lava, Asche, Sand, Schlacken, welche dieselbe Lagerung zeigen wie am innern Kegel selbst. Keine Spur von andern Gesteinen als solchen, welche die Eruptionen liefern, tritt an ihr auf; alle Lagerungsformen sind so, wie wir sie an aufgeschüttetem Gebirge erwarten müssen und an sichern Aufschüttungskegeln beobachten, und darum müssen wir auch für den Monte Somma dieselbe Entstehung annehmen. Er stellt den alten Krater dar, in dem der neue Kegel entstanden ist; auf diesen ist jetzt die Ausbruchsthätigkeit konzentriert. Allein fast bei jeder Eruption werden neue Laven ins Atrio del Cavallo ergossen, dasselbe wird ausgefüllt werden, und wenn nicht ein furchtbarer Ausbruch einmal diese Massen samt dem Gipfel wegsprengt, so wird mit der Zeit das Atrio del Cavallo sich ausfüllen, die weitern Produkte sich darüber ausbreiten und Vesuv und Somma zu Einem Berge verschmelzen, an welchem die jetzige Grenze nur durch eine Terrasse, ähnlich den jetzigen Piane, angedeutet bleibt.

Man betrachtet jetzt allgemein den Vesuv sowohl als seine Somma lediglich als ein Produkt der Anhäufung von Auswurfsprodukten, und dieselbe Ansicht gilt überhaupt von allen Vulkanen. Diese „Aufschüttungstheorie“ steht im Gegensatze zu der „Erhebungstheorie“, wie sie von Leopold v. Buch und Alexander v. Humboldt begründet und dann von Dufrenoy und Elie de Beaumont in etwas extremer Weise ausgebildet worden ist. Verschiedene Anhänger haben dieser Anschauung bald größere, bald geringere Ausdehnung gegeben, sie alle aber kommen darin überein, daß bei den Ausbrüchen nicht nur geschmolzene Massen zu Tage gefördert, sondern daß auch die festen Ablagerungen rings um die Ausbruchstelle gehoben und aufgerichtet werden, und daß bei der Oberflächengestaltung in vulkanischen Distrikten dem letztern Vorgange das Hauptgewicht zufällt. Als der regelmäßige Verlauf der Bildung eines Feuerberges wurde betrachtet, daß zunächst der Boden, das feste Gestein der Oberfläche, blasenförmig aufgetrieben wird. Bisweilen, nach den Auffassungen mancher Vertreter sogar in der Mehrzahl der Fälle, würde die ganze Erscheinung sich darauf beschränken, es würde gar nicht bis zu einem Ausbruche geschmolzener Massen kommen, ein Vorgang, welchem die so häufig dom- oder glockenförmigen Gebilde von Trachyten, Basalten ꝛc. zuzuschreiben sein werden, die keine Krater, keine Asche, keine Schlacken, keine Lavaströme erkennen lassen. Als besonders ausgezeichnete Beispiele dieser Art von Bergen werden in erster Linie die riesigen Trachytdome der südamerikanischen Anden, z. B. der Chimborazo, ferner der Puy de Dôme in Zentralfrankreich, der Vultur bei Melfi in Italien und eine sehr große Menge namentlich tertiärer Vorkommnisse von Massengesteinen genannt. In andern Fällen dagegen platzte die Blase, es bildete sich nun aus ihr ein Ringgebirge, der „Erhebungskrater“, in dessen Zentrum allmählich der eigentlich vulkanische Auswurfskrater entstand, der Lava und lose Auswürflinge zu Tage förderte.

Nach der Erhebungstheorie wäre also der Monte Somma der Erhebungskrater des Vesuvs, während der Aschenkegel bald als reines Aufschüttungsprodukt, bald als ein zweiter, innerhalb des ersten entstandener Erhebungskrater betrachtet wurde. Manche Forscher gestanden der Aufschüttung überhaupt keine irgend nennenswerte Rolle zu, führten jede

vulkanische Bergform auf Erhebung zurück, während andre, wie z. B. Humboldt in seinem „Kosmos“, sich von diesen Übertreibungen fern hielten und die Existenz von reinen Aufschüttungskegeln zugaben.

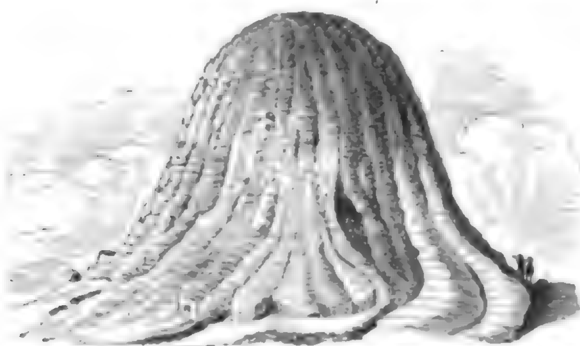
Ganz abgesehen von allen Einzelbeobachtungen wird für die Erhebungstheorie schon die eine allgemeine Thatsache zur großen Schwierigkeit, daß, abgesehen von überaus seltenen Ausnahmen, die Ringwälle ausschließlich aus vulkanischen Gesteinen bestehen. Man müßte an Elevationskratern ebenso gut Kalke, Thonschiefer, Sandsteine, kurz jedes beliebige Gestein erwarten wie Laven und Tuffe. Diese erhebliche Schwierigkeit hat zu der Annahme geführt, daß bei der ersten Abkühlung der Erde, bei der Entstehung der anfänglichen Kruste, ehe noch Gebirge vorhanden waren, sich Spalten bildeten, aus welchen Trachyte, Basalte und andre verwandte Gesteine ausflossen und weite Decken bildeten. Diese uralten Ausbreitungen nun sollen es sein, welche durch die spätere vulkanische Kraft blasenförmig aufgetrieben wurden und die Erhebungskrater bildeten. Diese Annahme erklärt aber doch nur das Auftreten solcher Gesteine an den Erhebungskratern, nicht aber deren ausschließliches Dominieren; es müßte auch unter dieser Voraussetzung überall eine scharfe Grenze zwischen den uralten Bestandteilen des Erhebungsringes und den jungen Auswurfsprodukten existieren, was, wie namentlich Hartung treffend hervorgehoben hat, entschieden nicht der Fall ist.

Als einer der Hauptbeweise für die Richtigkeit der Erhebungstheorie wurden die geneigte Lage zahlreicher Decken und Bänke von Lava und die außerordentliche Steilheit vieler Vulkankegel angeführt, welche über die Grenze eines natürlichen Böschungswinkels hinausgehen, und speziell wurde der größte Wert auf stark geneigte Lavaströme gelegt, da man annahm, daß deren flüssiges Material auf abschüssiger Unterlage nicht erstarren und liegen bleiben könne. Namentlich Elie de Beaumont hat diesem Gegenstande große Aufmerksamkeit zugewendet und zu zeigen gesucht, daß auf einem Gehänge von mehr als 4° Neigung in der Regel keine Lava bleibe, und daß die äußerste, nur ausnahmsweise erreichte Grenze 6° betrage. Allein der erste dieser Einwürfe beruht auf einem Irrtume; das menschliche Auge überschätzt bekanntlich die Steilheit der Gehänge in hohem Grade, und dies macht sich vor allem bei den Landschaftszeichnungen geltend, in welchen fast immer die Berge sehr stark überhöht sind. Auf Messungen nach derartigen Zeichnungen, namentlich aus Südamerika, beruhte die Behauptung, daß die Vulkankegel zu steil seien, um durch Aufschüttung entstanden zu sein. Seither hat man genauere Daten in dieser Richtung erhalten, und diese ergeben, daß alle Angaben über exzessive Steilheit der Vulkane unrichtig sind; der Vesuv mit einer Neigung von 31° gehört schon zu den sehr steilen Kegeln, und einzelne Vorkommnisse, wie der Gunung Sumbing auf Java mit 37° und die Klutschewskaja Sopka in Kamtschatka mit 38°, gehören zu den seltenen Ausnahmen. Ein Vulkan von 40° Neigung ist nicht bekannt.

Was das Liegenbleiben der Lavaströme betrifft, so haben direkte Beobachtungen die Folgerungen von Elie de Beaumont als unhaltbar erwiesen; es sind mehrere Beispiele von historischen Ausbrüchen bekannt, bei welchen Laven infolge ihrer Zähigkeit auf steiler Unterlage erstarrten, und namentlich im Ätnagebiete hat Lyell eine Anzahl von Fällen nachgewiesen, welche in dieser Beziehung vollkommen entscheidend sind. So findet sich z. B. dort ein Lavastrom, der auf einem Thalgehänge unter 35° erstarrt ist, während die Lage des Hauptstromes, von dem er abzweigt, und der Tuffschichten, über die er seinen Weg genommen hat, jede Idee von einer Hebung unmöglich macht; ja, von der Insel Bourbon im Indischen Ozean wird eine Art von Lavaturm beschrieben, der eine schlanke, glockenförmige Gestalt besitzt, die er durch das überaus träge Ausfließen der Lava aus einer Bocca erhalten haben soll (s. obenstehende Abbildung, S. 174).

Ein sehr entscheidender Grund gegen die Erhebungstheorie in ihrer weiten Ausdehnung ist der, daß ein normal kegelförmiger oder glockenartiger Berg nicht durch Auftreibung

einer horizontal gelagerten Gesteinsmasse entstehen kann, ohne daß eine Zerreißung eintritt und gewaltige Sprünge sich zeigen, von denen bei der Mehrzahl keine Spur zu finden ist. Bei manchen hat man allerdings solche Sprünge nachweisen wollen, allein ohne Erfolg. Mehrere Vulkane auf Java haben auf ihrer streng kegelförmigen Oberfläche strahlenförmig nach abwärts verlaufende Rinnen; dasselbe bemerkt man nach Hochstetters Schilderung an dem Mount Egmont auf Neuseeland (s. untenstehende Abbildung), und noch einige andre Beispiele sind angeführt worden. Allein diese Thäler erweitern sich nicht nach oben, wie es der Fall sein müßte, wenn sie ihre Entstehung einer Erhebung verdanken würden; es sind lediglich Wassereinrisse, welche die ablaufenden Gewässer eingeschnitten haben. Ähnlich verhält es sich mit den merkwürdigen Kesselthälern, den Calderen und ihren Schluchten, den Barancos, welche namentlich auf den Kanaren sehr entwickelt auftreten; wir werden bei einer spätern Gelegenheit auf diese Erscheinungen zurückkommen, hier sei nur vorläufig erwähnt, daß sie mit einer Hebung nichts zu thun haben und lediglich durch den Abfluß des Wassers erzeugt sind.



Eine glockenförmige Lavakuppe von der Insel Bourbon (nach Poulett Scrope). Vgl. Text, S. 173.

Man hat auch historische Berichte über die Entstehung neuer Vulkane als Beweismittel für die Erhebungstheorie verwertet, aber ohne Erfolg. Eine Schilderung aus dem klassischen Altertume über die Entstehung eines Feuerberges auf der Halbinsel Methana an der

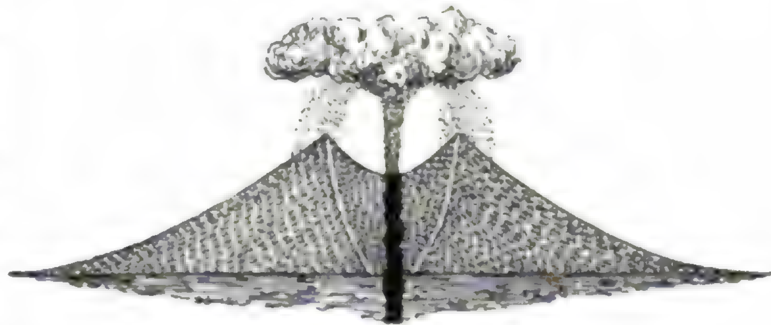


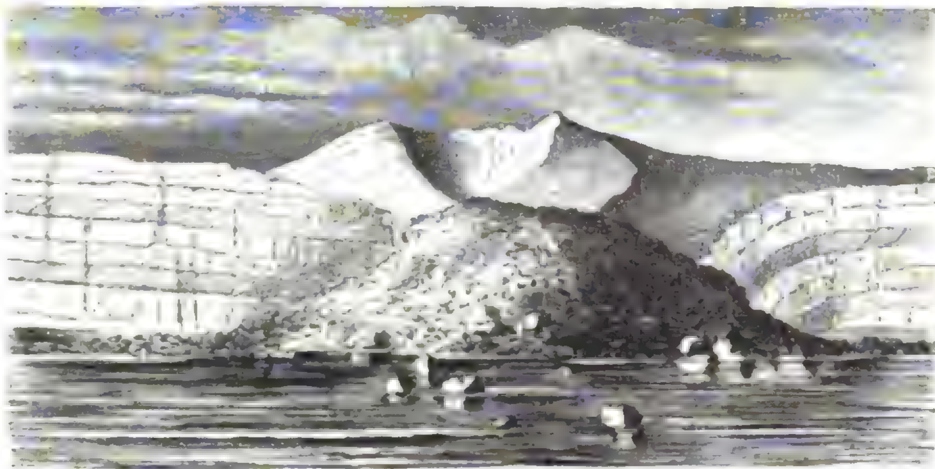
Der Mount Egmont auf Neuseeland (nach Hochstetter). Vgl. Text, S. 256.

Nordküste des Peloponnes, die wir bei Ovid finden, kann nicht wohl als Beweismittel gelten. Ein zweiter Fall liegt uns von der Entstehung des Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern bei Neapel vor, der von vier gleichzeitigen Schriftstellern beschrieben wird. Zwei davon erwähnen eine Auftreibung des Bodens, von der die andern nichts wissen, und gerade hier läßt sich aus dem Stehenbleiben antiker Bauwerke, wie unten näher gezeigt werden soll, der Nachweis liefern, daß es sich lediglich um Aufschüttung handelt. Sehr berühmt ist der Jorullo in Mexiko geworden, dessen Ausbruch in der Nacht vom 28. auf den 29. September 1759 mitten in einer fruchtbaren Ebene erfolgte. Es wird von den

Umwohnern erzählt, daß auch hier eine blasenartige Auftreibung des Bodens stattgefunden habe; allein die Leute hatten sich auf eine 2260 Fuß über der Ebene, in der die Eruption stattfand, gelegene Höhe geflüchtet und sahen den Vorgang aus dieser Entfernung an, wobei natürlich von keiner sichern Beobachtung die Rede sein kann. Das sogenannte Malpais des Jorullo mit seinen zahlreichen Fumarolenkegeln, den Hornitos, ist ein Lavafeld, das in seiner jetzigen Erscheinung keinen hinreichenden Grund für die Annahme einer blasenförmigen Hebung gewährt.

Eine Reihe von wichtigen Beobachtungen steht jedoch mit der Elevationstheorie in ihrer extremen Form durchaus im Widerspruche. So finden wir in Vulkanen von verhältnismäßig einfachem Baue, bei denen nicht durch zahlreiche sich wiederholende Eruptionen die Lagerung unklar geworden ist, daß zwar die Hauptmasse der Auswürflinge ꝛc. in der Weise angeordnet ist, daß die Bänke nach allen Seiten hin nach außen, vom Zentrum des Vulkanes weg, einfallen; dies gilt aber nicht von dem Innern des Kraters, im Gegenteile findet man hier, daß die Schichten alle nach innen, gegen das Zentrum, fallen (s. obenstehende Abbildung). Wir finden „quaquaversale“ Schichtung, wie man sie z. B. im Innern der Solfatara von Puzzuoli sehr gut beobachten kann. Diese Thatsache erklärt sich sehr leicht durch Aufschüttung, indem die vom Kraterrande nach innen fallenden Auswürflinge notwendig eine derartige Böschung bilden und sich demgemäß im Laufe der Zeit schichtweise anordnen müssen; durch Elevation ist das Einfallen gegen das Zentrum des Kraters unerklärlich.


Schematischer Durchschnitt eines Vulkans (nach Poulett Scrope).


Ein Vulkankegel auf Neuseeland, horizontalen Tertiärschichten aufgesetzt (nach Poulett Scrope).

Wichtiger als diese Betrachtung sind wohl Beobachtungen im großen, in Fällen, in welchen das tektonische Verhalten eines Kraters zu den benachbarten ältern Gesteinen zu sehen ist. So bildet Poulett Scrope einen sehr lehrreichen Fall eines kleinen Vulkankegels auf Neuseeland ab, der sich über horizontal gelagerten Tertiärschichten erhebt (s. oben, zweite Abbildung). Diese letztern sind dadurch nicht nur nicht aufgerichtet, sondern sogar ein wenig gegen die Ausbruchstelle nach abwärts gebogen. Von Bedeutung sind ferner die Untersuchungen von Tietze an dem riesigen, wohl bei 20,000 Fuß hohen Vulkane Demawend in Persien. Das Elburzgebirge im nördlichen Persien verläuft von Osten nach Westen am Südrande des Kaspischen Meeres, in seinem östlichen Teile ist ihm der Riesenkegel des

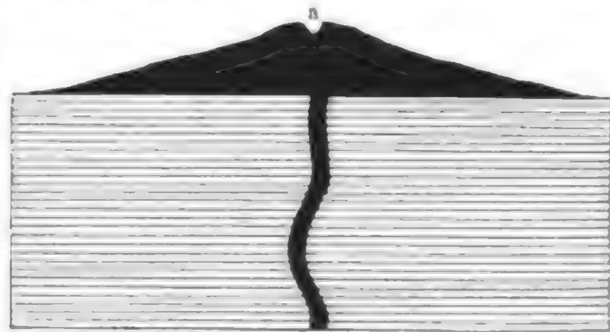
Demawend aufgesetzt; aber derselbe bringt im Streichen und Fallen der Schichten, im ganzen Gebirgsbaue nicht die mindeste Änderung hervor, keineswegs sieht man domförmig aufgerichtete Schichten nach allen Seiten von ihm abfallen, sondern er ruht als ganz passive Masse auf dem Gebirge auf.

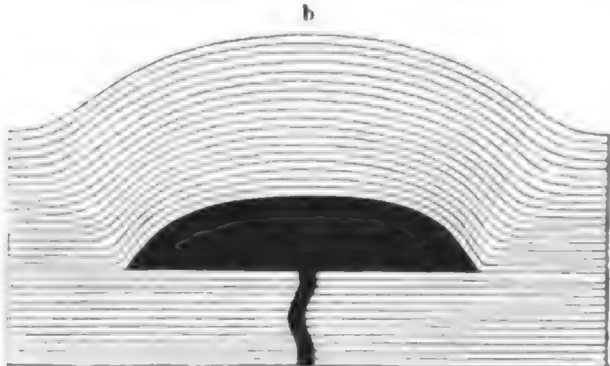
Wir haben gesehen, daß alle die normalen Erscheinungen der Vulkane sich durch die Aufschüttungstheorie sehr gut erklären lassen, daß die thatsächlichen Beobachtungen damit übereinstimmen, während die Beweise für die Elevationstheorie in allgemeiner Form der Kritik nicht standhalten, ja derselben unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehen; infolgedessen hat man sich von der Annahme der Erhebungskrater abgewendet. Zuerst fanden Junghuhn und Dana ihre Beobachtungen mit dieser Anschauung unvereinbar, vor allen aber waren es Lyell und Poulett Scrope, welche in entschiedenster Weise gegen die Hebungstheorie auftraten; sie haben zahlreiche Anhänger gefunden, und ihre Ansicht ist jetzt die allgemein herrschende geworden. In der That ist es ein großer Fortschritt, daß man nicht mehr in jedem Ringwalle eine Erhebung sieht, daß die Wirkung der Aufschüttung als die allein maßgebende betrachtet wird. Aber wenn wir darin auch mit der Mehrzahl der Geologen übereinstimmen, so drängt uns doch eine strengere Kritik die Überzeugung auf, daß man in der Reaktion vielfach zu weit geht, indem man überhaupt das Vorkommen irgend welcher Hebungserscheinungen bei Vulkanausbrüchen durchaus in Abrede stellt; man hat das Kind mit dem Bade ausgeschüttet und unbestreitbare Thatsachen ignoriert, indem man alle Elevationserscheinungen selbst in ganz untergeordneter Rolle neben der Aufschüttung in Abrede stellt. Es mögen hier einige solche Fälle erwähnt werden, welche diese Behauptung rechtfertigen und zur Vorsicht vor Übertreibung mahnen können.


Der Puy Chopine in der Auvergne, mit eingelagerter Granittafel (nach Poulett Scrope). Vgl. Text, S. 177.

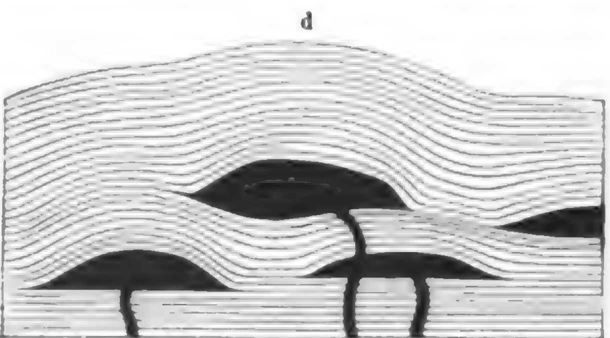
Ein solches Beispiel wurde schon von Poulett Scrope, dem entschiedensten Gegner der Erhebungstheorie, beschrieben und auch in seiner Bedeutung richtig erkannt. In dem erloschenen Vulkangebiete Frankreichs, in der Auvergne, befindet sich ein alter Kegel, der Puy Chopine, der von einem halbkreisförmigen Ringwalle, dem Puy de la Goutte, umgeben wird wie der Vesuv von der Somma. Der Puy Chopine hat nun die höchst merkwürdige Eigentümlichkeit, daß an seiner Zusammensetzung nicht nur junge Eruptivgesteine, Trachyt und Basalt, Anteil haben, sondern daß auch uralter Granit an demselben auftritt. Auf der einen Seite des Berges ist nur Trachyt zu sehen, auf der andern Flanke, gegen Süden,

Südost und Südwest, ist die Basis aus Basalt und basaltischen Schlacken zusammengesetzt (s. Abbildung, S. 176), über welche sich eine mächtige tafelförmige Masse von Granit erhebt, während zu oberst Trachyt auftritt; die Granittafel liegt nach Scrope zwischen Basalt und Trachyt „wie das Fleisch in einem Sandwich“. Stellenweise zeigt sich übrigens auch Trachyt unter dem Granite. Es ist noch keine Erklärung gegeben worden, welche alle Einzelheiten dieses seltsamen Vorkommens hinreichend erklären würde; so viel aber ist sicher, daß die Lage des Granites auf die lokale Hebung einer mächtigen Scholle ältern Gebirges bei der Eruption des Puy Chopine hinweist.









Schematische Querschnitte: a durch einen normalen Vulkan — b durch einen einfachen Lakkolithen — c durch einen Lakkolithen mit Ausläufern — d durch eine Lakkolithengruppe (nach Gilbert). Vgl. Text, S. 178 und 180.

Analoge Erscheinungen in weit großartigerer Entwickelung hat in jüngster Zeit Abich in seinem prachtvollen Werke über das armenische Hochland geschildert: in unmittelbarer Nähe der Stadt Erzerum erhebt sich der 3147 m hohe Berg Palandokän, 1145 m über der Ebene, dessen mächtiger Krater nicht nur aus jungen eruptiven Massen besteht, sondern neben diesen in zweiter Linie Serpentine, Chloritschiefer, Kalke, Gipse enthält, die in heftigster Weise gestört und von den Trachyten „überwältigt“ sind, so daß auch hier eine Bewegung und Aufrichtung älterer Massen bei einer jüngern Eruption angenommen werden muß.

Namentlich aber sind hier höchst merkwürdige Erscheinungen zu nennen, welche in neuerer Zeit im westlichen Teile der Vereinigten Staaten von Nordamerika beobachtet und von Gilbert beschrieben worden sind. Im südlichen Teile des Staates Utah liegt unter 38° nördlicher Breite und 110° 45′ westlich von Greenwich, am rechten Ufer des Rio Colorado, zwischen der Einmündung des Dirty Devil und des Escalante, ein unbewohntes und noch selten von Menschen betretenes Bergland, welches von den amerikanischen Forschern den Namen Henry Mountains erhalten hat. Dieselben bilden keine fortlaufende Gebirgskette, sondern bestehen aus fünf selbständigen Bergen, die, durch niedere Pässe getrennt und nicht nach bestimmten Linien angeordnet, sich über der Hochebene erheben, in welcher der Colorado in einer 460 m tief eingeschnittenen engen Schlucht, einem sogenannten Cañon, fließt. Der höchste Gipfel der Henry Mountains erhebt sich zu 3429 m, der niedrigste erreicht 2362 m. Die Umgebung besteht aus Schichtgesteinen, von welchen die ältesten dem obern Teile der Kohlenformation,

die jüngsten der obern Kreide angehören. In den Henry Mountains selbst gesellen sich nun zu den Sedimentärablagerungen Trachyte, die bald als Gänge jene durchschneiden, bald sich zwischen die Schichtflächen einschieben und in einer höchst eigentümlichen Lagerungsform auftreten, welche Gilbert mit dem Namen Lakkolithen (wörtlich Zisternensteine) bezeichnet hat. Diese, den ganzen Gebirgsbau beherrschenden Lakkolithen sind domartig gewölbte, zwischen die Schichtgesteine eingeschaltete Massen von Trachyt, über welchen die Schichtgesteine ebenfalls domförmig aufgetrieben sind und vom Zentrum nach allen Seiten hin einfallen, so daß ein Querschnitt durch einen Lakkolithen theoretisch die Verhältnisse zeigt, wie sie in der Abbildung b auf S. 177 angegeben sind.



Ansicht eines Lakkolithen, Mount Ellsworth (nach Gilbert). Der Berg besteht aus Trachyt, links in der Tiefe die Schichtköpfe der aufgerichteten Sedimentärgesteine. Vgl. Text, S. 179.

Solche eingeschaltete Trachytkuppeln sind nicht auf ein bestimmtes Niveau beschränkt, sondern treten in verschiedenen übereinander liegenden Horizonten von der obern Kohlenformation bis zur obern Kreide auf, innerhalb eines Schichtenkomplexes, der eine Mächtigkeit von 1300 m hat; und es kommt öfters vor, daß mehrere Lakkolithen an einem und demselben Orte sich übereinander befinden. Die Dimensionen derselben sind sehr wechselnd, sie stellen aber alle sehr bedeutende Massen dar; der größte hat eine Mächtigkeit von 7000 Fuß, sein größter Durchmesser beträgt 4, sein kleinster Durchmesser $3^3/_4$ engl. Meilen, seine Masse etwa 10 Kubikmeilen.

Natürlich würde man an der Oberfläche nur kolossale Dome von sedimentären Gesteinen sehen und keine Spur der darunterliegenden Trachyte bemerken, wenn nicht die Erosion, die Zerstörung der Gesteine durch Wasser, Frost und ähnliche Agenzien, und die Wegführung der dadurch gelockerten Materialien in den Flußläufen im Verlaufe von Millionen von Jahren diese Kuppeln angeschnitten, die obern Teile derselben entfernt und



TRACHYTBERGE IN NEU-MEXIKO

die Verhältnisse in der Tiefe bloßgelegt hätten. Nach Gilberts Annahmen waren diese abtragenden Kräfte hier im höchsten Maßstabe thätig und haben nicht nur von den obersten Kreidebildungen bis zur Kohlenformation hinab Durchschnitte erzeugt, sondern auch eine zusammenhängende Decke ursprünglich vorhandener Tertiärbildungen in einer Mächtigkeit von mehreren Tausend Fuß vollständig vernichtet. Auf diese Weise wird uns der innere Bau dieser Auftreibungen vor Augen geführt; bei einzelnen allerdings sieht man bloß die gewölbte Decke von Sedimenten und kann nur nach der Analogie vermuten, daß sie in der Tiefe Trachytlakkolithen bergen, bei den meisten aber sind diese bloßgelegt, und da der Trachyt solider ist und der Verwitterung besser widersteht als die Sandsteine und Schiefer, die ihn umhüllen, so ragt in der Regel der Trachyt, den Höhepunkt eines Berges bildend, empor, umgeben von einem niedrigern Mantel nach allen Seiten abfallender Schichten. (Vgl. auch die beistehende Tafel „Trachytberge in Neu-Mexiko".)



Modell eines Lakkolithen, Mount Ellsworth (nach Gilbert).

Es wird nun die obenstehende schematische Darstellung leichtverständlich sein, welche Gilbert von der Entstehungsweise der heutigen Form eines dieser Lakkolithenberge, des 2438 m hohen Mount Ellsworth, gibt, desselben Berges, welcher auf S. 178 abgebildet ist. Die obenstehende Abbildung stellt ein aus der Erde herausgeschnittenes Stück dar, dessen Seitenkanten etwa eine Höhe von 4000 m haben. Die Fläche a a zeigt die Oberfläche des Landes mit der Lakkolithenauftreibung, wie sie aussehen würde, wenn gar keine Erosion gewirkt hätte; es ist jedoch nur die hintere Hälfte in dieser Weise dargestellt, der vordere Teil der Abbildung gibt die Verhältnisse, wie sie durch die Wirkung der Erosion in Wirklichkeit sich gestaltet haben. Das ganze Tertiär und die Kreidebildungen sind zerstört; in der Mitte erhebt sich der gewaltige Trachytkern, und an seinen Flanken steigen die aufgerichteten Jura- und Triasschichten empor. Wir haben also hier einen Lakkolithen vor uns, der in den Jura-Triasbildungen steht.

Da es zu weit führen würde, hier noch mehr bei den Einzelheiten dieses merkwürdigen geologischen Baues zu verweilen, wollen wir nur die Frage der Entstehung der Lakkolithen besprechen. Da diese Trachytmassen zwischen den Schichten der Sedimentärformationen eingekeilt liegen, so sind nur zweierlei Erklärungen denkbar; die eine Möglichkeit ist

die, daß sie sich gleichzeitig mit den umschließenden Schichten gebildet haben. Es hätten sich also über eine horizontal liegende Bank von Sediment Laven ergossen, die sich aber nicht in weit ausgedehnten Strömen verbreiteten, sondern sich zu domförmigen Massen türmten und dann von den jüngern Ablagerungen überdeckt wurden. Die andre Erklärung ist, daß die Trachyte spätern Ursprunges sind als die einschließenden Schichtgesteine, daß sie sich bei ihrem Ausbruche keinen Weg bis zur Oberfläche bahnen konnten, sondern sich zwischen die Schichten einpreßten und die überliegenden Massen emporodrängten und domartig auftrieben. Es läßt sich nicht verkennen, daß von vornherein die erste Anschauung bei weitem plausibler und wahrscheinlicher ist und der herrschenden Auffassung der vulkanischen Erscheinungen, ja der ganzen Dynamik des Erdinnern sich weit besser anschließt, während die zweite fast ans Unmögliche und Unglaubliche streift. Allein eine sorgfältige Prüfung der Thatsachen ergibt doch, daß die Annahme einer gleichzeitigen Bildung der Trachyte unzulässig ist, daß die Lakkolithen ganz entschieden später eingedrungene Massen darstellen, und den Thatsachen müssen wir uns fügen, auch wo wir sie nur schwerverständlich finden.

Gegen die Annahme einer gleichzeitigen Entstehung der Lakkolithen spricht zunächst der Umstand, daß die über denselben liegenden Gesteine nie eine Spur von Trachytstücken enthalten, was doch unvermeidlich wäre, wenn sie sich über einer neuentstandenen Eruptivmasse gebildet hätten; der Trachyt ist nie blasig oder schlackig, es ist keine Spur von Tuffen vorhanden, wie man erwarten müßte, wenn hier wirklich ein Ausbruch am Meeresgrunde vorläge. Ein noch wichtigerer Grund liegt in der Schichtstellung der die Lakkolithen oben umhüllenden Gesteine; wären wirklich die fertig gebildeten Trachytkuppeln erst später von Sediment umhüllt worden, so dürfte keine starke Neigung der Bänke ringsum auftreten, diese müßten gegen den Trachyt abstoßen, während thatsächlich der Sedimentmantel oft Schichtneigungen von 45 bis 60°, lokal sogar von 80° zeigt. Auch der Umstand, daß von Trachyteinlagerungen bisweilen Gänge nach aufwärts gehen, die sich in höherm Niveau wieder lagerartig ausbreiten (s. Abbildungen c und d, S. 177), spricht in klarer Weise für spätere Eindrängung.

Ein andrer wichtiger Umstand ist, daß der Trachyt die Sedimente an der Berührungsstelle verändert, daß er Kontaktmetamorphosen hervorgebracht hat und zwar in genau derselben Weise in den Schichten, auf denen er ruht, wie in jenen, welche ihn bedecken; auch dieses Verhältnis wäre nicht möglich, wenn die Deckschichten sich erst später gebildet hätten. Endlich ist noch ein Gesichtspunkt von Bedeutung vorhanden: die Trachyte der verschiedenen Lakkolithen, mögen sie zwischen Schichten der Kohlenformation, des Jura oder der obern Kreide liegen, unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Nun wissen wir aber, daß wohl kein Vulkan der Erde auch nur vom Miocän bis zur Jetztzeit fortwährend dieselben Eruptivgesteine geliefert hat; wir können um so weniger annehmen, daß in dem unvergleichlich viel längern Zeitraume von der Kohlen- bis zur Kreideformation das Trachytmaterial der Henry Mountains sich gleichgeblieben sei, sie müssen demnach einer verhältnismäßig kurzen Zeit angehören, und es können also die Lakkolithen nicht durch Einlagerung während der Sedimentbildung entstanden sein.

Fassen wir alle diese Thatsachen zusammen, so kommen wir zu dem überraschenden Resultate, daß Lakkolithen in der That nach Ablagerung der ganzen Reihe der Sedimentgesteine, vielleicht erst während der spätern Tertiärzeit, sich zwischen die fertigen Bänke der Sandsteine und Schieferthone eingezwängt und diese domförmig emporgewölbt haben.

Allerdings bedürfen diese Beobachtungen noch der Bestätigung, und eine Täuschung ist, wenn auch wenig wahrscheinlich, doch nicht ganz ausgeschlossen. Allein es liegen von mehreren benachbarten Punkten schon ähnliche Beobachtungen vor; Holmes hat schon vor Gilbert ähnliche Dome aus der Sierra el Lote und aus den La Plata Mountains im

südwestlichen Colorado beschrieben, und Newberry scheint schon im Jahre 1859 für einen Teil der Sierra Abajo im südöstlichen Utah zu ähnlichen Resultaten gelangt zu sein. Auch in Europa scheinen analoge Vorkommnisse nicht ganz zu fehlen; Sueß hat darauf hingewiesen, daß die Verhältnisse auf den Hebriden, wie sie Judd dargestellt hat, sowie ein höchst merkwürdiges Vorkommen von kristallinisch-metamorphosischen Jurakalken bei Fontana Fredda in den Euganeen bei Padua auf das Auftreten von Lakkolithen an diesen Stellen hinweist. Es ist noch schwer, sich eine richtige Vorstellung über die Ursachen und die Art und Weise der Entstehung dieser domförmigen Auftreibungen zu machen. Es werden sich solche natürlich dann bilden, wenn der Widerstand, welchen die überlagernden Schichten einer Zerreißung und der Bildung eines normalen Vulkanes entgegensetzen, größer ist als derjenige, welcher bei einem seitlichen Eindringen und Emporwölben der Decke überwunden werden muß; allein unter welchen Umständen dies der Fall ist, können wir vorläufig noch nicht sagen. Daß über einem Lakkolithen sich späterhin noch ein echter Vulkan erheben kann, zeigt, wie wir unten sehen werden, das Beispiel der Euganeen.

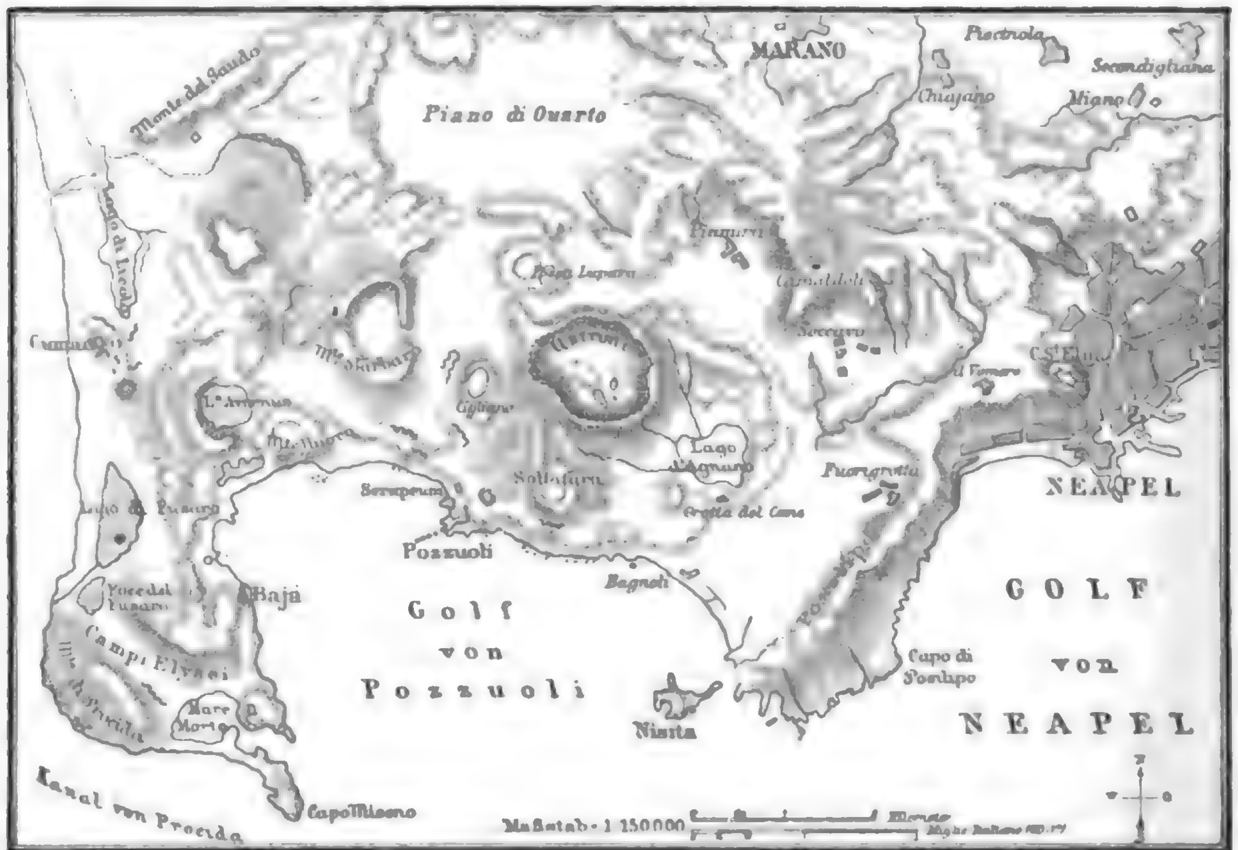
Wir sind demnach durch eine Reihe von Thatsachen zu dem Resultate geführt worden, daß die Reaktion gegen die Theorie der Erhebungskrater zu weit gegangen ist, daß die aktive Rolle der ausbrechenden Gesteine unterschätzt, ihre Fähigkeit, selbstthätig gewisse Verschiebungen von Massen, vor allen eine domförmige Auftreibung überlagernder Schichten, hervorzubringen, übersehen worden ist.

So viel darf heute als feststehend betrachtet werden, daß den Eruptivmassen eine beschränkte aktive Rolle bei der Massenbewegung zuerkannt werden muß. Es ist das zunächst für die ganze Auffassung der Vulkane von fundamentaler Bedeutung, aber wir werden sehen, daß auch die Gebirgsbildung im allgemeinen von diesem Faktor nicht ganz unberührt bleiben kann. Doch ist hier nicht der Platz, diesen Gegenstand eingehend zu besprechen; wir werden bei der Frage der Entstehung der Kettengebirge wieder darauf zurückkommen, wobei es sich zeigen wird, daß eine auftreibende Kraft eruptiver Massen bei diesem Vorgange nicht vorausgesetzt werden kann.

Die Besprechung des Vesuv und seines Baues hat uns zur Diskussion großer Gesetze geführt, welche die vulkanische Thätigkeit im allgemeinen beherrschen. Kehren wir zu unserm Ausgangspunkte, zu dem gewaltigen Feuerberge des Golfes von Neapel, zurück, und lassen wir nochmals die Geschichte desselben in raschen Zügen vor unsern Augen vorübergehen, so finden wir eine durch einige Jahrtausende an derselben Stelle thätige vulkanische Esse, die bald in langen Zwischenräumen, bald ohne wesentliche Unterbrechung, bisweilen in gemäßigtem Tempo, zu andern Zeiten in wilden Paroxysmen Lava und lose Auswürflinge ausgestoßen und durch Anhäufung derselben ohne nachweisbare Hebung fester Gesteinsmassen den Berg aufgeschüttet hat. Eine erste, größtenteils vorhistorische Periode hat trachytisches Material geliefert; der Monte Somma, damals ein vollständiger Kraterring, war thätiger Vulkan. Eine mehrhundertjährige Ruhe schließt diese Periode ab, eine neue Phase beginnt mit dem Auswurfe vom Jahre 79. Die Hälfte des Sommaringes stürzt ein, an ihrer Stelle liegen die Piane. Statt der Trachyte brechen von nun an kieselsäurearme, meist leucitische Gesteine hervor; im Zentrum des alten Sommaringes baut sich der neue Vesuv auf, der im Verlaufe von nun 1800 Jahren abwechselnd durch Aufschüttung wächst oder bei heftigen Explosionen wieder den obern Teil seines Gipfels verliert; bleibend aber erweitert er seine Basis durch beginnende Ausfüllung des Atrio del Cavallo und durch Überschüttung der Piane. Wir stehen mitten in dieser Entwickelung, die, wenn sie ununterbrochen fortdauert, endlich Vesuv und Somma zu einem Riesenkegel wieder vereinigen kann.

Die Phlegräischen Felder.

Ein durchaus andres Bild vulkanischer Thätigkeit, als wir es beim Vesuv kennen gelernt haben, tritt uns entgegen, wenn wir uns der Nordseite des Golfes von Neapel, den Phlegräischen Feldern, zuwenden, die sich von der Stadt bis zum Kap Misenum erstrecken. In wenige Worte zusammengedrängt, besteht der Charakter dieses Gebietes in dem ausschließlichen Dominieren trachytischer Gesteine, in dem Zurücktreten der Laven, in dem enormen Vorwiegen loser Eruptionsprodukte und aus ihnen gebildeter Tuffe und darin, daß nicht, wie am Vesuv, ein dauernder Ausbruchsmittelpunkt vorhanden ist, sondern daß im Laufe der Zeit bald hier, bald dort eine Bocca sich gebildet hat, die bald nur eine, bald einige wenige Eruptionen liefert und dann wieder in Ruhe versinkt.



Karte der Phlegräischen Felder.

Die Zahl der Krater in diesem Gebiete ist sehr bedeutend, man gibt einige zwanzig an; doch sind diese Schätzungen sehr unsicher, da es in einer Reihe von Fällen nicht mehr zu entscheiden ist, ob man es in einer vorliegenden Reliefform mit den Resten eines durch die Erosion stark mitgenommenen Ringwalles zu thun habe oder nicht. Ein Beispiel dafür liefert schon die Stadt Neapel selbst und ihre unmittelbare Umgebung; **Breislak** nimmt in und um Neapel mit Einschluß des Posilippo fünf alte Krater an, doch gewährt keiner derselben entscheidende Anhaltspunkte für diese Deutung. Erst weiter im Westen beginnen unzweideutige Kraterbildungen mit der Insel Nisita, dem Lago d'Agnano und der Pianura von Camaldoli; von da erstrecken sie sich dicht gedrängt bis zum Kap Misenum und finden ihre Fortsetzung in den Inseln Procida und Ischia. Einen lehrreichen Überblick über diese mannigfachen Ringwälle gewährt das Kloster Camaldoli, der höchste Punkt des ganzen Striches (450 m) und selbst auf dem Ringwalle eines alten, teilweise zerstörten Kraters erbaut, des größten im ganzen Gebiete der Phlegräischen Felder, der sogenannten Pianura. Mit Recht gilt diese Aussicht als eine der schönsten der Welt, und ganz besondern Reiz

erlangt sie für den, der geologisch zu sehen weiß und vielleicht, wie es mir geschah, von hier aus zum erstenmal eine vulkanische Landschaft von einem dominierenden Höhenpunkte überblickt und im Astroni sowie in der Solfatara Repräsentanten der merkwürdigen Ringgebirge in wunderbarer Klarheit vor seinen Füßen ausgebreitet sieht.

Es ist natürlich nicht möglich, alle die einzelnen Vorkommnisse zu schildern, nur einige der merkwürdigsten mögen hier genannt werden. Wohl eine der vollendetsten Kraterformen ist der Astroni; die Einsenkung in der Mitte ist elliptisch und mißt gegen 2000 m in der großen, etwa 1300 m in der kleinen Achse. Seine Gehänge sind außerordentlich steil, als einziger Zugang ins Innere dient ein künstlicher Einschnitt, im übrigen bilden die Abstürze eine Mauer um die waldige Sohle und stellen so einen natürlich eingehegten Wildpark dar. Die Wände bestehen aus trachytischem Tuffe, aus den losen, aufgeschütteten Auswurfsprodukten des Vulkanes, welcher niemals Lava ergossen hat; wohl aber sieht man im Innern einige Hügel aus festem Trachyt, der offenbar hier aus der Tiefe heraufgedrungen, aber im Grunde des Kraters erstarrt ist, ohne sich durch dessen Wände oder über den Rand hinweg einen Ausweg bahnen zu können.

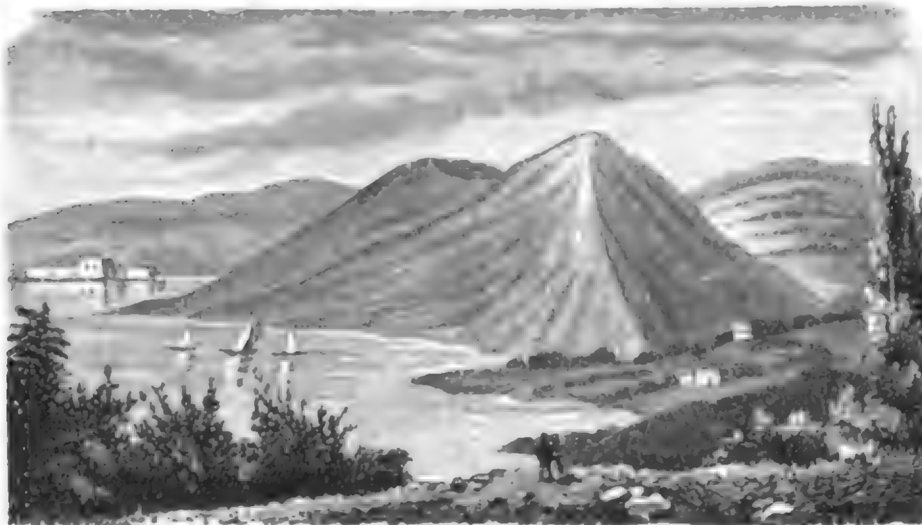
In historischer Zeit weiß man nichts von einer Thätigkeit des Astroni; anders verhält es sich mit einem andern benachbarten Berge, der berühmten Solfatara, welche einer ganzen Kategorie vulkanischer Erscheinungen den Namen gegeben hat. Ganz in der Nähe von Puzzuoli erhebt sich der weite Ringwall ungefähr 200 m über die Meeresfläche an seiner höchsten, zu 166 m an seiner tiefsten Stelle. Der sehr flache, etwa 500 m im Durchmesser haltende Kraterboden liegt nicht ganz 100 m hoch, also kaum 70 m niedriger als die tiefste Stelle der Umwallung. Die trachytischen Tuffe, welche den Berg zusammensetzen, sind ganz zersetzt und gebleicht von den durchströmenden Dämpfen und ebenso der Boden der innern Ebene, der an vielen Stellen auffallend hohl klingt, sei es infolge des Vorhandenseins unterirdischer Hohlräume, sei es, weil die starke Porosität des Gesteines den Widerhall verursacht. An dem großenteils mit immergrünem Buschwerke, mit Lorbeer, Erdbeerbäumen, Vitex 2c. bewachsenen Innenrande des Kraters bleibt doch das Gestein an vielen Stellen, namentlich in der östlichen Hälfte, hinreichend entblößt, um die Schichtung des Tuffes sehr deutlich erkennen zu lassen, und hier finden wir jenes oben erwähnte allseitige Einfallen der Bänke gegen das Zentrum des Kraters, die für den Innenrand der aufgeschütteten Kegel charakteristische „quaquaversale Schichtung“, sehr deutlich ausgesprochen. An mehreren Stellen entsteigen Fumarolen, meist schwefelwasserstoffhaltig, dem Boden, vor allem aber ist das an der Hauptbocca am östlichen Ende des Kraters der Fall; dort ist in einer kleinen Grotte ein Pfuhl trüben Wassers, aus dem sich unter lautem Brausen und Geheule Wasserdampf und Schwefelwasserstoff stürmisch entwickeln. Es ist das ein Überbleibsel der ehemals viel intensivern Thätigkeit dieses Kraters, der nun in eine Phase getreten ist, welche sehr viele Vulkane auf dem Wege zu vollständiger Ruhe durchmachen. An sehr vielen Punkten auf der Erde findet man Exhalationen von Schwefelwasserstoffgas oder von schwefliger Säure als letzten Rest der ehemaligen Aktivität und bezeichnet sie als Vulkane im Stadium der Solfatarenthätigkeit oder schlechthin als Solfataren.

Die Solfatara von Puzzuoli hat in früher Zeit, aus der uns keine Überlieferung erhalten ist, Lava ausgestoßen; ein Teil ihres Randes ist aus solcher gebildet, und vielleicht stellt auch der Trachyt des Monte Olibano einen alten Lavastrom dar. Aller Wahrscheinlichkeit nach haben wir auch aus historischer Zeit eine Eruption von hier zu verzeichnen und zwar aus dem Jahre 1198, aus einer der großen Pausen des Vesuv.

Weitaus der wichtigste und interessanteste Punkt in den Phlegräischen Feldern ist der Monte Nuovo (s. Abbildung, S. 184), ein 139 m über das Meer aufragender Kraterkegel, der sich durch eine heftige Eruption im Jahre 1538 an einer bis dahin ebenen Stelle im

Laufe weniger Tage aufgebaut hat. Es ist das einer der seltenen Fälle, in welchen wir genauere Berichte über das erste Entstehen eines neuen Vulkanes besitzen, und überdies spielt sich die ganze Geschichte des Berges in wenigen Tagen ab, so daß die hier vorliegenden Thatsachen von Bedeutung für die Theorie der Vulkane sind. Leider sind die uns überlieferten Erzählungen von Augenzeugen in vieler Beziehung unklar und gerade in dem entscheidenden Punkte, in der Frage, ob eine Auftreibung des Bodens stattgefunden hat, in offenem Widerspruche miteinander. Es liegen uns vier Dokumente aus jener Zeit vor, unter welchen ein Brief von Francesco del Nero, von dem man bisher glaubte, daß er früher als irgend ein andrer Berichterstatter den Ausbruch sah und an Ort und Stelle beobachtete, besondere Aufmerksamkeit verdient:

„Ich weiß nicht, ob Sie in Pozzolo gewesen sind. Sechs Bogenschüsse weit jenseit der Stadt beginnt eine Ebene; dieselbe war etwa eine halbe Miglie breit und umfaßte einen Teil des Meerbusens rechts vom Berge; jetzt sind die ganze Breite der Ebene und ein Teil des Berges in einen Feuerschlund verwandelt, und in der Länge nimmt dieser denselben Raum ein. Wohl ist das Ereignis in natürlicher Weise vor sich gegangen, aber doch ist es sehr wunderbar und beachtenswert; Aristoteles hebt zwei ähnliche Fälle in seinen ‚Meteorologica', Band 2, als denkwürdig hervor; der eine davon ereignete sich in Pontus, der andre auf der Insula Sagre. Am 28. September, ungefähr um 18 Uhr (12 Uhr 15 Minuten) mittags, trocknete das Meer bei Pozzolo auf eine Strecke von 600 Braccie ein, so daß die Einwohner von Pozzolo ganze Wagenladungen von Fischen einbringen konnten, die auf dem Trocknen liegen geblieben waren. Am 29. September um 14 Uhr (8 Uhr 15 Minuten) morgens senkte sich da, wo heute der Feuerschlund ist, die Erde um 2 Canne, und es brach eine Wasserader hervor, sehr kalt und klar nach den einen, lau und schweflig nach den andern, die wir befragt haben. Und da die befragten Leute sämtlich auch glaubwürdige Personen sind, so meine ich, daß sie alle die Wahrheit berichtet haben, und daß das Wasser zuerst auf die eine und dann auf die andre Weise hervorkam, und daß auch.... Zu Mittag desselben Tages begann die Erde an derselben Stelle aufzuschwellen, so daß sie da, wo sie um 2 Canne gesunken war, um 1½ Uhr (7 Uhr 45 Minuten) abends so hoch war wie der Monte Ruosi an der Stelle, wo das Türmchen steht. Um diese Zeit begann das Feuer und bildete den Schlund mit solcher Gewalt, solchem Getöse und Glanze, daß ich im Garten große Angst hatte; doch nicht so sehr, daß ich mich nicht, ehe ⅔ Stunden vergangen waren, obwohl halb krank, auf eine Anhöhe hier in der Nähe begeben hätte, von der aus ich alles sah. Und bei meiner Treue, es war ein schönes Feuer, welches über sich so viel Erde und so viel Steine gehoben hatte, und fortwährend warf es solche in die Höhe, und diese fielen im Umkreise des Feuerschlundes



Der Monte Nuovo bei Puzzuoli (nach Lyell). Vgl. Text, S. 183.

nieder und füllten auf der Seite gegen das Meer hin einen Halbkreis des Meeres aus wie ein Bogen, dessen Sehne 1½ Miglien, dessen Pfeil ⅔ Meilen betrug.

„Auf der Seite gegen Pozzolo hat es einen Berg gebildet fast so hoch als der Monte Morello, und auf 70 Miglien im Umkreise hat es Land und Bäume mit Asche bedeckt. Auf meinem Landgute ist kein Blatt, auf dem sie nicht so hoch wie eine Kreiselschnur liegt. Aber nahe bei Pozzolo, auf 6 Miglien, ist kein Baum, an dem nicht alle Äste abgebrochen wären, und man erkennt nicht, daß Bäume dagestanden sind, denn hier ist sie gröber gefallen und war weich und schweflig und schwer, und sie hat nicht nur die Bäume absterben gemacht, sondern auch eine Menge Hasen, Vögel und andre kleine Tiere, die da waren, getötet. Ich war gestern genötigt, mich zu Meere wieder nach Pozzolo zu begeben, mit Messer Cecco di Loffredo, welcher die Sache, die Messer Pavolo Antonio angeht, führt. Alle Welt war da, um zu schauen, und staunte, und es war nichts zu sehen als der Berg; ich sage nichts im Vergleiche zur ersten Nacht, als der Ausbruch stattfand, d. h. als ich zu schauen ging. Und da niemand aus Neapel das Feuer sah und nur wenige andre, welche die Sache wiederzusagen wüßten, so bin ich fast der einzige, der es erzählen könnte; denn seit der Nacht, in welcher die Menge Leute von hier hingegangen, ist nichts entfernt so Wunderbares erfolgt wie jenes: ich will daher die Sache exemplifizieren. Denken Sie sich, die Engelsburg sei der Feuerschlund, der voll von aufrecht stehenden Raketen sei, so daß eine die andre berührt, und diese würden in Brand gesteckt. Es ist kein Zweifel, daß diese Raketen, obwohl sie gerade in die Höhe gehen, doch beim Fallen eine gewisse Drehung erleiden und nicht auf das Kastell fallen, von dem sie aufgestiegen sind, sondern auf den Tiber oder auf die Wiesen. Denken Sie sich dann, es wären so viele Raketenhülsen auf den Tiber gefallen, daß sie ihn anfüllten und sich 4 Canne hoch auftürmten; und gegen die Wiesen seien so viele gefallen, daß sie aus dem Weinberge des Messer Bindo bis zum Monte Mario hin einen Berg machten fast so hoch als Santo Silvestre im Tusculano; gegen San Pietro wären nicht viele Raketen gefallen, weil Westwind wehte und sie nach den früher genannten Teilen trieb. So machte es jener Schlund, welcher gewaltige Massen von Erde und Steine von der Größe eines Ochsen in eine Höhe warf, die nach meinem Urteile 1½ Miglien betrug. Dann fielen sie wieder in der Nähe des Schlundes in ein oder zwei oder drei Armbrustschuß Entfernung nieder; so füllten sie in einer Nacht jenes Meer (d. h. jenen Meeresteil) aus und bildeten den genannten Berg. Diese Erde und Steine fielen trocken nieder. Dasselbe Feuer warf zur selben Zeit auch eine andre leichtere Erde und kleinere Steine bedeutend weiter in die Höhe; und sie fielen in größerer Entfernung vom Feuer nieder und waren weich und schlammig, ein deutliches Zeichen, daß sie die kalte Region erreichten; und sie machten es wie andre Dämpfe, die, wenn sie dorthin gelangen, sich in Wasser verwandeln. Diese selbe Ursache bewirkte auch, daß die Asche weich und mit etwas Wasser niederfiel, obwohl der Himmel heiter war. Ich könnte wiedergeben und bezeichnen die natürlichen Ursachen sowohl, als die materiellen, als die formellen, als auch die wirksamen, für das Eintrocknen des Meeres, die von dem Ursprunge jener zuerst kalten, dann lauen Wasserader herrührten; die Ursachen für die Senkung des Bodens und dann für dessen Erhebung, endlich für den Ausbruch des Feuers. In derselben Weise für die Erdbeben, die man hier vorher durch zehn Tage zehnmal in der Stunde fühlte, während in Pozzolo die Erdbeben gar nicht aufhörten; und nach dem Ausbruche waren sie weder hier noch dort mehr zu fühlen. Da ich aber weiß, daß Messer Simone Porzio dieselben dem Vizekönige und dem erlauchten Farnese in sehr gelehrter Weise geschrieben hat, so will ich nicht, daß es aussehe, als wollte ich mich mit fremden Federn schmücken. Pozzolo ist ganz unbewohnt, und man würde das Meer nicht wiedererkennen, das gepflügtes Land zu sein scheint. Zu oberst liegt eine Schicht von Steinchen, die man

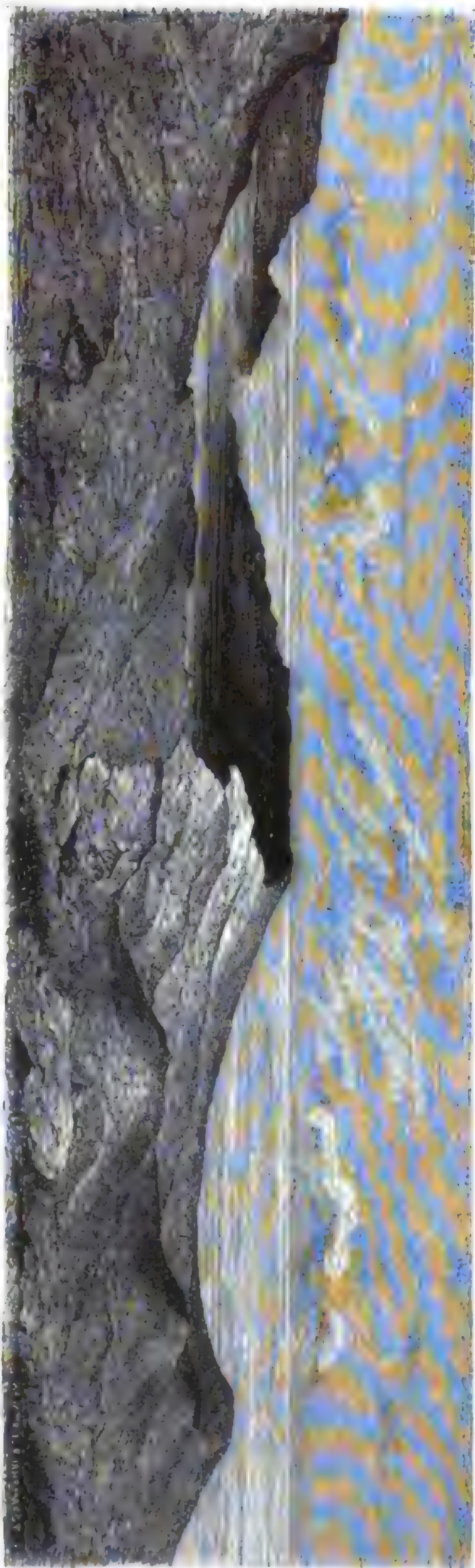
hier Rapilli nennt, einen halben Palm hoch, welche oben aufschwimmen. Was ich mir aber im Kopfe nicht zurechtlegen kann, ist die große Masse des Materials, das aus diesem Schlunde herausgefördert worden ist; betrachtet man, was ins Meer gelangt ist, den Berg, der sich gebildet hat, die Asche, von der Sie wissen, daß sie davongetragen wurde, und daß sie der Rückstand des verbrannten Materials ist; wenn man all das vereinigen könnte, so würde es einen riesigen Berg bilden. Denn erst heute morgen habe ich mit jemand gesprochen, der von Jebeli (Eboli?) kam, das 45 Miglien von dem Feuer entfernt ist, und er sagte mir, daß dort dieselbe Asche gefallen sei, und es scheint, daß das Feuer sich unter der Erde mehr als 10 Miglien weit gerührt und diese große Masse von Erde in die Höhe geworfen habe; und wenn dies nicht genügen würde, so müßte es sich noch weiter ausbreiten. Und wolle Gott, daß die Höhle sich nicht bis unter Neapel gebildet habe; und erst gestern, als wir zu Lande von Pozzolo zurückkehrten, sahen wir zwei neugebildete Feueressen nahe bei Neapel, nur 3 Miglien entfernt (?). Von ausgezeichneten Männern sind brillante Disputationen gehalten worden, und manche glauben, daß große Gefahr für Neapel vorhanden sei. Man hat Prozessionen veranstaltet, und es wird eine Unzahl sehr tiefer Brunnen zwischen Neapel und Pozzolo gegraben werden, um das Feuer zu löschen. Was die Aspekten betrifft, so bedeutet der Umstand, daß die Raketen, wie ich gesagt habe, von Westen nach Osten geflogen sind, daß der Kaiser die Türken angreifen werde. — Aus Neapel."

Aus diesem Berichte ergibt sich in erster Linie, daß der Monte Nuovo sich mitten in einer Ebene erhoben hat und daß die Eruption nicht etwa aus einem alten, schon vorhandenen Kraterwalle geschehen ist, wie man stellenweise hat annehmen wollen; seine Aufschüttung füllte auch eine einspringende Bucht des Meeres teilweise aus. Eine lokale Einsenkung des Bodens erfolgte, aus welcher Wasser hervorbrach. Nun soll nach del Nero eine Auftreibung, ein Aufschwellen des Bodens erfolgt sein, wodurch ein bedeutender Berg entstand, und dann erst der Ausbruch stattgefunden haben, welcher durch seine Aufschüttung diesen Berg erhöhte, seine Basis erweiterte und eine Strecke weit ins Meer hinausbaute. Man hat darauf besondern Wert gelegt, weil man glaubte, daß Francesco del Nero die Eruption als unmittelbarer Augenzeuge von Puzzuoli aus mit angesehen habe; es läßt sich aber aus dem Berichte selbst beweisen, daß dies nicht der Fall war, sondern daß er von einer Anhöhe bei Neapel den Ausbruch beobachtet habe.

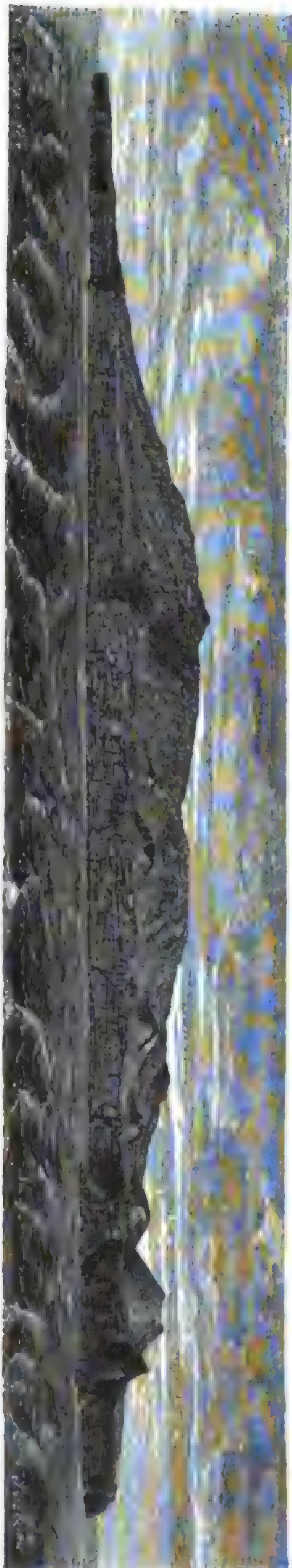
Wir können daher diese Angaben unmöglich als einen bestimmten Beweis für das Stattfinden einer Auftreibung des Bodens betrachten, zumal da eine Thatsache vorliegt, welche entschieden gegen eine derartige Annahme spricht. Am Fuße des Monte Nuovo finden sich nämlich die Ruinen eines antiken Apollotempels, dessen Säulen vollständig aufrecht und senkrecht stehen und einen ganz horizontalen Architrav tragen; es ist somit hier keinerlei Verschiebung des Bodens vor sich gegangen. Wir dürfen daher den Monte Nuovo mit vollem Rechte als ein reines Produkt der Aufschüttung betrachten, wie das auch von andern gleichzeitigen Schriftstellern behauptet wird.

Am 3. und 6. Oktober fanden noch Ausbrüche statt, bis zum Januar strömte Dampf aus dem Gipfel, seit dieser Zeit ist der Berg wieder erloschen. Der Kegel des Monte Nuovo, der in dieser Weise aufgeschüttet wurde, hat, wie schon erwähnt, eine Höhe von 139 m, der Querdurchmesser seines Kraters beträgt etwa 370 m, dessen Tiefe 120 m, so daß der Kraterboden nur 19 m über dem Meeresspiegel liegt. Der Berg besteht vorwiegend aus weißlichem Bimssteintuffe, der mit graubraunen Schlacken vermischt ist; Spuren eines kleinen Lavastromes sind vorhanden.

Dicht neben dem Monte Nuovo liegt der Averner See, ein nur sehr wenig über dem Meeresspiegel erhabenes, mit Wasser gefülltes Kraterbecken, in dessen Nähe heiße Quellen und Schwefeldämpfe aufsteigen. Überhaupt sind solche Überreste vulkanischer



Die Insel St. Paul, Ansicht von der Westseite (nach Velain).
Vgl. Text, S. 188.



Die Insel St. Paul, Ansicht vom Kratergipfel (nach Velain).
Vgl. Text, S. 189.

Thätigkeit im Gebiete der Phlegräischen Felder sehr verbreitet; zu ihnen gehört auch die sogenannte Hundsgrotte, in welcher sich eine Kohlensäureausströmung, eine „Mofette“, befindet. Dieses Gas, das bedeutend schwerer ist als die atmosphärische Luft, steigt infolge seines hohen Gewichtes nicht auf, sondern breitet sich am Boden aus und bildet über diesem eine Schicht, in der keine Respiration möglich ist und jedes warmblütige Tier schon in sehr kurzer Zeit erstickt. Diese Schicht reicht jedoch nicht so hoch empor, um bis an den Mund eines aufrecht stehenden Menschen zu gelangen, während z. B. ein Hund an derselben Stelle rasch in Zuckungen verfällt und erstickt.



Isolierte Tuffinsel in der Bucht von Lacco auf Ischia. Vgl. Text, S. 189.

Von Inseln schließen sich den Phlegräischen Feldern zunächst Nisita und Procida an, von denen die erstere eine ausgezeichnete Form von Kratern aufweist, die bei Inselvulkanen an sehr vielen Stellen der Erde sich wiederfindet. Ein Ringwall erhebt sich über die Oberfläche des Meeres, der auf einer Seite eingestürzt ist und eine weit klaffende Lücke zeigt, und da der Kraterboden tiefer liegt als der Meeresspiegel, so ist das Meer in das Innere des Amphitheaters eingetreten und füllt eine kreisförmige Bucht aus. Wir greifen, um ein charakteristisches Beispiel dieser Art von Vulkanen zu geben, weit über unser Gebiet hinaus und zeigen auf den Abbildungen, S. 187, St. Paul, die Schwesterinsel von Amsterdam, die beide einsam aus dem Indischen Ozeane aufragen. Unter etwa 39° südlicher Breite und in gerader Linie südlich von der Spitze der vorderindischen Halbinsel liegen diese zwei Vulkane; namentlich St. Paul besitzt in prachtvoller Klarheit die geschilderte Bildung.

Weiterhin bildet die Insel Ischia eine Fortsetzung der Phlegräischen Felder; auch hier finden nur sehr selten und in langen Zwischenräumen von Jahrhunderten an wechselnden

Punkten Eruptionen statt. An dem höchsten Berge der Insel, dem fast 800 m hohen Monte Epomeo, ist keine deutliche Kraterbildung erkennbar. Derselbe ist nach Sueß überhaupt kein Vulkan, sondern besteht aus geschichteten Tuffen, die sich aus dem Wasser abgesetzt haben, und stellt nur einen Erosionsrest einer ehemals weitverbreiteten Ablagerung dar. In früherer Zeit war Ischia weiter ausgedehnt, es hat viel von seinem Umfange verloren, wie das z. B. eine in der Bucht von Lacco einsam aus dem Meere sich erhebende Tuffpartie erkennen läßt, die wir auf S. 188 abgebildet haben. Die der Hauptsache nach aus Tuff bestehende Insel trägt einige kleine Krater, die in früherer, teilweise in historischer Zeit thätig waren; die letzte Eruption fand 1302 an einem Seitengehänge des Epomeo statt und lieferte den großen Lavastrom del Arso, der noch heute, nach fast 600 Jahren, rauh und unfruchtbar mitten in der blühenden Landschaft liegt. Andre Eruptionen fanden, wie berichtet wird, im Jahre 472, dann im Jahre 92 v. Chr. statt; auch werden mehrere aus der Kaiserzeit von Titus bis Diokletian erwähnt. Jetzt erinnern noch mehrere Fumarolen und heiße Quellen an die ehemalige Thätigkeit, und häufige Erdbeben suchen als unheimliche Boten unterirdischer Thätigkeit die schöne Insel heim, deren letzte noch in neuem furchtbaren Andenken stehen.

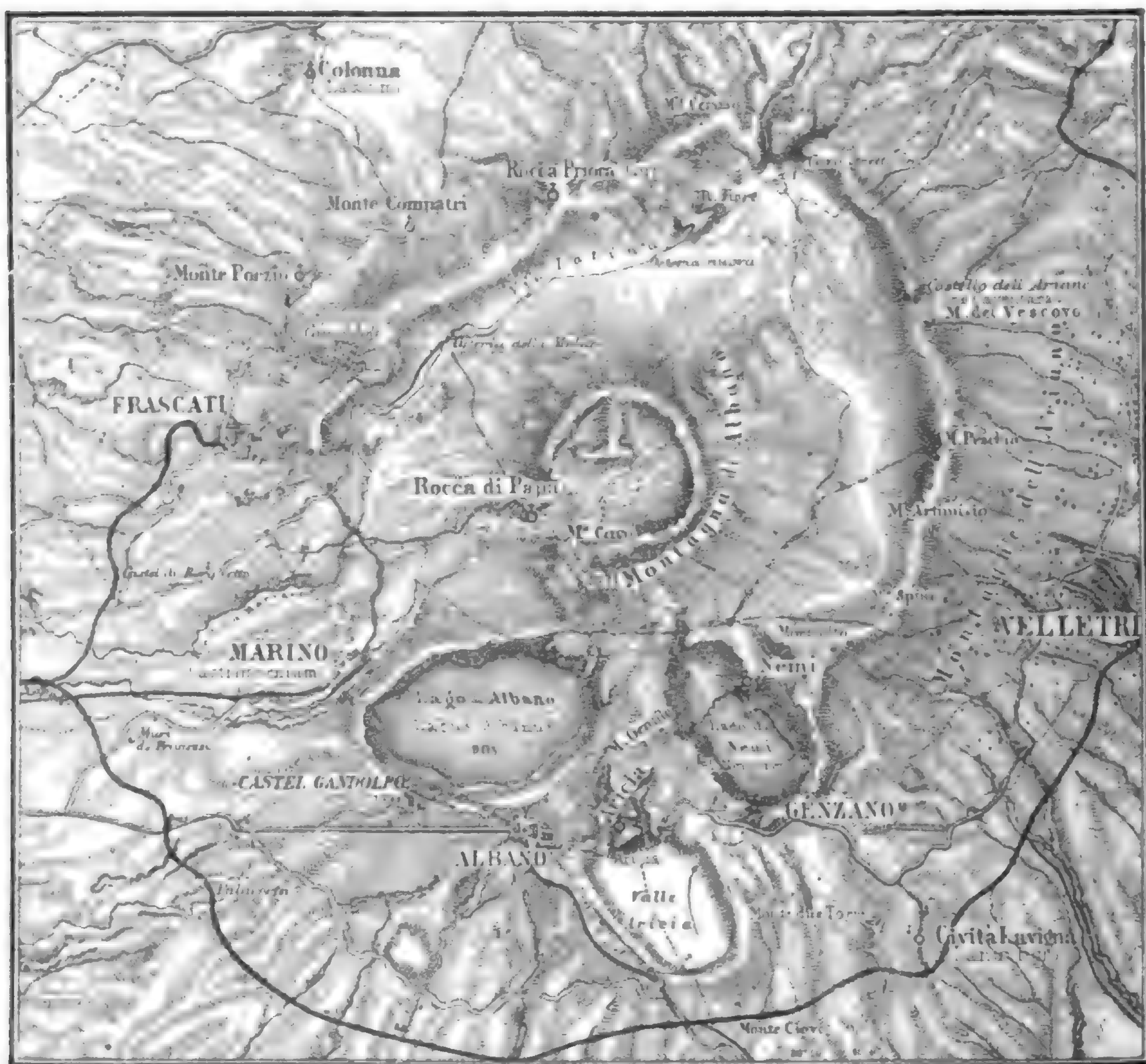
Die übrigen Vulkane Italiens.

Die Umgebung von Neapel hat uns eine Reihe interessanter Vulkantypen geliefert, welche die Mehrzahl der wichtigern Vorkommnisse in guten Beispielen repräsentieren. Immerhin wird es notwendig sein, noch etwas weiter zu greifen und auch die übrigen Vulkane Italiens etwas ins Auge zu fassen, da sie uns noch in mehrfacher Beziehung Anlaß zu wichtigen und neuen Beobachtungen bieten.

Alle Vulkane der italienischen Halbinsel, die gewiß oder sehr wahrscheinlich noch nach Schluß der Tertiärzeit Ausbrüche gehabt haben, liegen, mit Ausnahme eines einzigen, auf einer geradlinigen Zone, welche der Haupterstreckung der Halbinsel sowohl als der Streichungsrichtung der Apenninen parallel an der Küste des Tyrrhenischen Meeres von Nordwest nach Südost verläuft. Der nördlichste Punkt dieser Reihe ist der Monte Amiata bei Radicofani, ungefähr an der Grenze zwischen Toscana und dem ehemaligen Kirchenstaate, ein bedeutender Berg, der große Ströme trachytischer Lava ausgestoßen hat, seinen Krater aber nicht mehr erkennen läßt. Er ist der nördlichste Punkt, aus welchem Laven hervorgegangen sind; allein noch weiter gegen Nordwest lassen sich die Spuren vulkanischer Thätigkeit in den heißen Quellen und Solfataren Toscanas erkennen, welche bei Volterra und an einigen andern Punkten auftreten und namentlich durch das reiche Vorkommen von Borsäure in ihren Produkten merkwürdig sind.

In südöstlicher Richtung vom Monte Amiata folgt dann der gewaltige Krater des Bolsener Sees, auf dessen Walle das Städtchen Montefiascone steht, dann die Ciminischen Berge mit einigen Kratern, der See von Bracciano, der ebenfalls in einem vulkanischen Ringbecken liegt, und eine Anzahl ähnlicher, aber kleinerer Vorkommnisse nördlich von Rom; überhaupt enthält die Campagna eine ziemlich große Anzahl kleiner Vulkankegel. Als selbständiges Zentrum ragt im Südosten der ewigen Stadt das bekannteste unter den erloschenen Vulkangebieten Italiens, das Albanergebirge, hervor. Diese herrliche Bergoase in der öden Campagna besteht vor allem aus einem Krater von riesigem Durchmesser, aber nicht sehr bedeutender Höhe und wenig steilen Gehängen. Oberhalb Frascati beginnend, zieht sich der etwa 18 km weite Ringwall vom Tuskulaner Berge an Rocca Priora vorbei zum Monte Ceraso, dann zum Monte Vescovo und endet endlich über dem See von Nemi im langgestreckten Monte Artemisio. Dieser weit ausgedehnte Höhenzug bildet keinen vollständigen

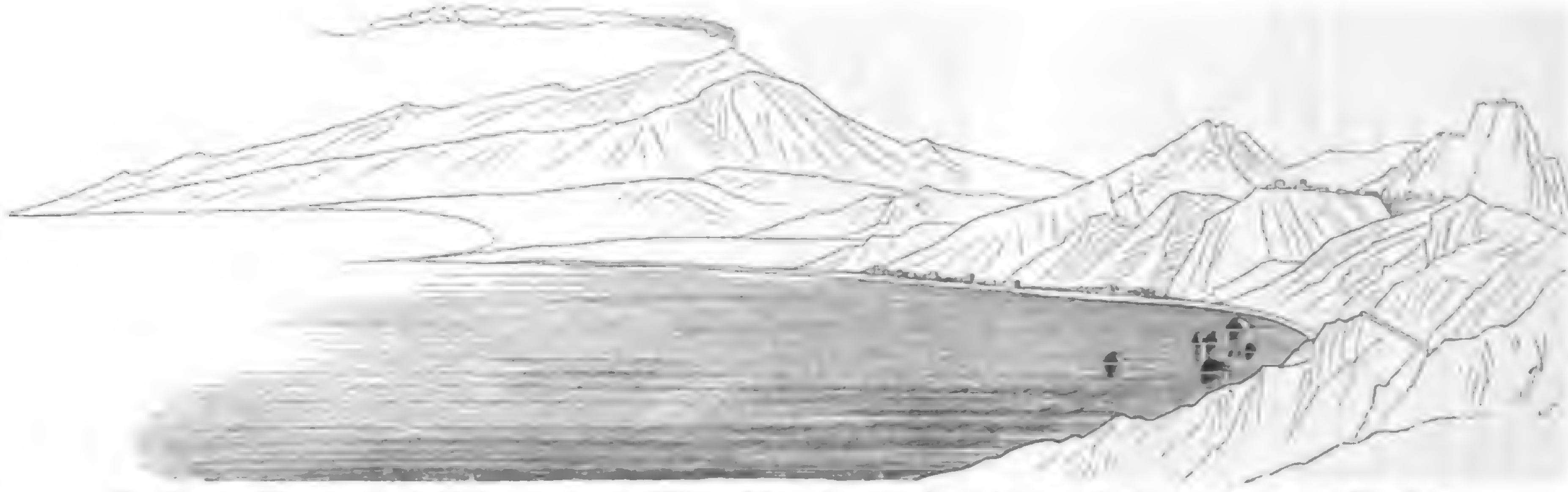
Ringwall, sondern ist gegen Westen offen, vermutlich eingestürzt, und in dieser Lücke liegen drei kleinere Kraterbecken, von denen zwei, der Albaner- und der Nemisee, noch heute mit Wasser gefüllt sind, während der dritte, der Kessel von Ariccia, wenigstens jetzt trocken liegt. Im Zentrum des großen Ringgebirges steht ein zweiter innerer Kratergipfel, der sich zu jenem verhält wie der Vesuv zum Monte Somma; dieser zentrale Krater des Albanergebirges ist ebenfalls nach Westen nicht geschlossen, er umfaßt in seinem Innern eine Ebene,



Karte des Albanergebirges.

das sogenannte Lager des Hannibal, einen alten Seeboden, der von dem umgebenden Höhenzuge in seinem höchsten Punkte, dem 954 m hohen Monte Cavo, um 190 m überragt wird.

Das Albanergebirge hat eine Reihe bedeutender Lavaströme in die Campagna gesendet, von denen die beiden bekanntesten und größten sich bis nahe an Rom vorschieben. Wenn man die Stadt durch die Porta Sebastiana verläßt und die Appische Straße hinausgeht, gelangt man nach einer halben Stunde an das bekannte Grabmal der Cäcilia Metella und die Trümmer der Burg der Gaetani, deren festen Turm das alte Denkmal lange Zeit hindurch bildete. Hier steigt die Straße etwas an und erreicht eine höher gelegene ebene Fläche, deren Rand noch weithin als eine Terrasse sich verfolgen läßt. Man ist hier an das Vorderende, an die Stirn eines gewaltigen Stromes von Leucitlava gelangt,



Der Ätna im Hintergrunde, im Vordergrunde die aus geschichteten Gesteinen bestehenden Gebirge im Norden desselben (nach Sueß). Vgl. Text, S. 193.

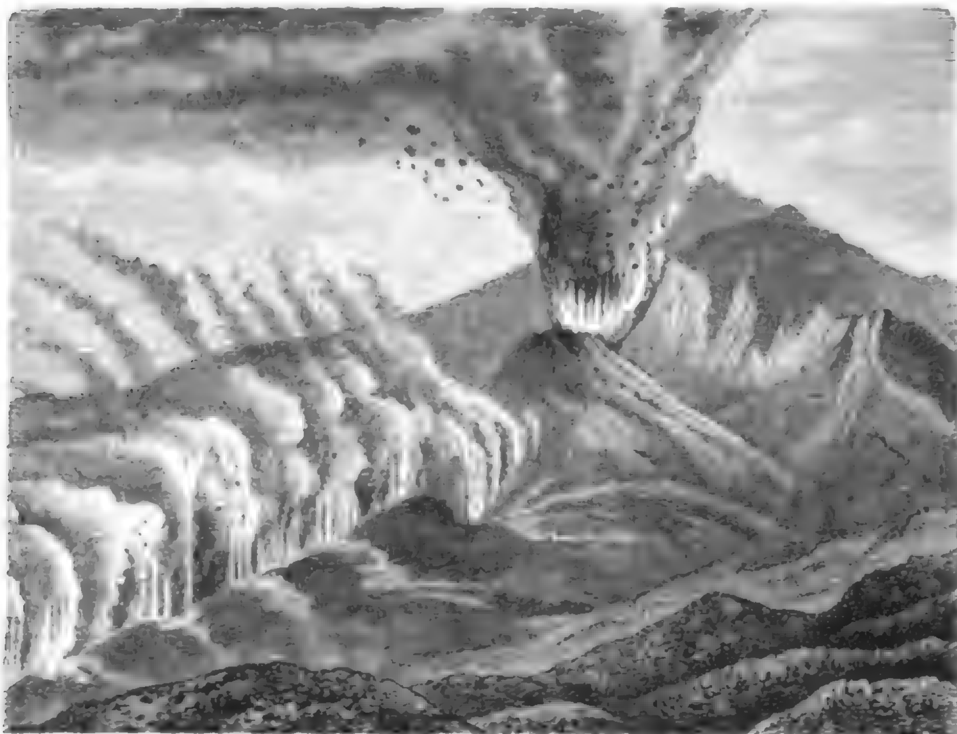


Der Ätna mit seinen parasitischen Kratern (nach Sartorius von Waltershausen). Vgl. Text, S. 194.

auf die man an jener Stelle hinansteigt. Ein zweiter Strom erstreckt sich bis zur Acqua Acetosa, 6 km von der Porta Paola. Beide lassen sich bis in die Nähe des Albanergebirges verfolgen, wo sie sich bei Solferata verbinden; doch verschwinden sie weiterhin bald unter der Decke des jüngern Peperintuffes, der es unmöglich macht, ihren Ursprung aus dem Krater zu beobachten.

Einen Ausläufer der eruptiven Bildungen der Campagna von Rom bilden noch die Vulkane des Hernikergebirges in der Nähe von Frosinone, wo acht verschiedene Ausbruchspunkte nachgewiesen werden konnten.

Während die Krater und festen Laven in dem weiten Raume vom Bolsener See bis ins Hernikergebirge trotz ihrer Zahl keinen sehr großen Flächenraum einnehmen, erreichen die Tuffe, welche sich aus den losen Materialien der Ausbrüche gebildet haben, eine kolossale Verbreitung; sie bilden eine verhältnismäßig wenig unterbrochene Decke über die ganze Campagna von Rom.



Ausbruch aus einem parasitischen Krater des Ätna (nach Sartorius von Waltershausen). Vgl. Text, S. 193.

Südlich vom Gebiete des Hernikergebirges hört jede Spur von Eruptivbildungen für eine kurze Strecke auf, dann folgt nach Südost die schon früher erwähnte Rocca Monfina, hierauf die Phlegräischen Felder, endlich der Vesuv, das letzte Glied dieser langen Vulkanreihe, das einzige, das noch heute in Thätigkeit ist. Dann bricht die Kette plötzlich ab; wie ein Riegel schiebt sich das vom Hauptkamme der Apenninen quer abzweigende Kalkgebirge von Sorrento, der Bergzug des Monte Sant' Angelo, vor. Von da bis zur äußersten Spitze Kalabriens ist keine Spur junger Eruptionen zu bemerken.

Diese lange Vulkanreihe begleitet, wie erwähnt, die Kette der Apenninen und liegt außerhalb ihres Bereiches; sie steht an der steil abgebrochenen Seite des Gebirges, welches sich nach der vulkanlosen Nordostküste der Halbinsel regelmäßiger und sanfter abdacht. Daß Vulkanreihen sich gern auf der Seite eines Kettengebirges zeigen, welche steiler abstürzt, ist eine Beobachtung, die sehr häufig wiederkehrt, und deren Bedeutung wir noch näher kennen lernen werden.

Im vollsten Gegensatze dazu stellt sich uns jedoch ein erloschener Vulkan des italienischen Festlandes dar, der Vultur bei Melfi, welcher gerade östlich vom Vesuv schon jenseit des Kammes der Apenninen steht; wir werden später den Unterschied seiner geologischen Stellung gegen die der übrigen italienischen Vulkane kennen lernen, hier mag es genügen, darauf aufmerksam zu machen, daß an dieser Stelle ein gewaltiger erloschener Vulkan steht,

höher als der Vesuv (1329 m), mit einem großen, kreisrunden Krater, in dessen Mitte jetzt zwei kleine Seen liegen.

Ein ganz andres Bild als die erloschenen Feuerberge des Festlandes bieten uns die Inselvulkane Italiens. In erster Linie tritt uns auf Sizilien der **Ätna** entgegen, ein gewaltiger Riese von 3313 m Höhe. Zwischen Sizilien und der tunesischen Küste liegen Pantellaria und die versunkene Insel Ferdinandea, nördlich vom Ätna stehen die noch thätigen Liparen, und noch weiter nördlich liegen endlich die Ponzainseln vor dem Golfe von Gaeta, westlich von den Phlegräischen Feldern.



Der Ätnakrater in den Jahren 1804 u. 1805 (nach Sartorius von Waltershausen). Vgl. Text, S. 194.

Wir wenden uns vor allen andern dem Ätna, dem größten Vulkane Europas und dem höchsten Berge Italiens, zu (s. die obere Abbildung, S. 191). Rings umgeben von sedimentären Gesteinen, nehmen seine Aufschüttungen ein gewaltiges Areal mit einem Umfange von etwa 130 km ein. Wie am Vesuv, sehen wir auch hier einen Vulkan vor uns, der seit vielen Jahrtausenden an derselben Stelle seine Ausbrüche gehabt hat oder wenigstens nur eine wenig bedeutende Verschiebung seiner Achse erkennen läßt. Ein sehr auffallender Unterschied gegen den Vesuv tritt jedoch am Ätna sofort jedem Besucher entgegen; der Hauptkrater am Gipfel ist thätig, er entsendet zwar Dampf, Bomben, Asche, aber namentlich in neuerer Zeit fast nie Lava. Wenn diese im Innern des Berges aufsteigt, so ist der Seitendruck der gewaltigen Säule geschmolzenen Gesteines ein so kolossaler, daß die Flanken des Berges ihm nicht zu widerstehen im stande sind; noch ehe die Lava bis zum Gipfel hinaufgelangt, bildet sich bald höher, bald tiefer an der Seite des Berges eine Spalte, aus welcher nun die Lava ausströmt, indem sie um die Bocca herum einen „**parasitischen Krater**" (s. Abbildung, S. 192) aufwirft, der selbst wieder für sich einen ganz bedeutenden Berg bilden kann. So haben die Monti Rossi bei



Der Ätnakrater in den Jahren 1805—1809 (nach Sartorius von Waltershausen) Vgl. Text, S. 194.

Nicolosi, aus welchen die Lava der furchtbaren Eruption von 1669 hervorbrach, eine Höhe von 250 m über ihrer Umgebung. Da nun fast jeder größere Ausbruch seine eigne Bocca bildet, so kommt es, daß der Berg über 200 solcher parasitischer Krater an seinen Seiten trägt (s. die untere Abbildung, S. 191).

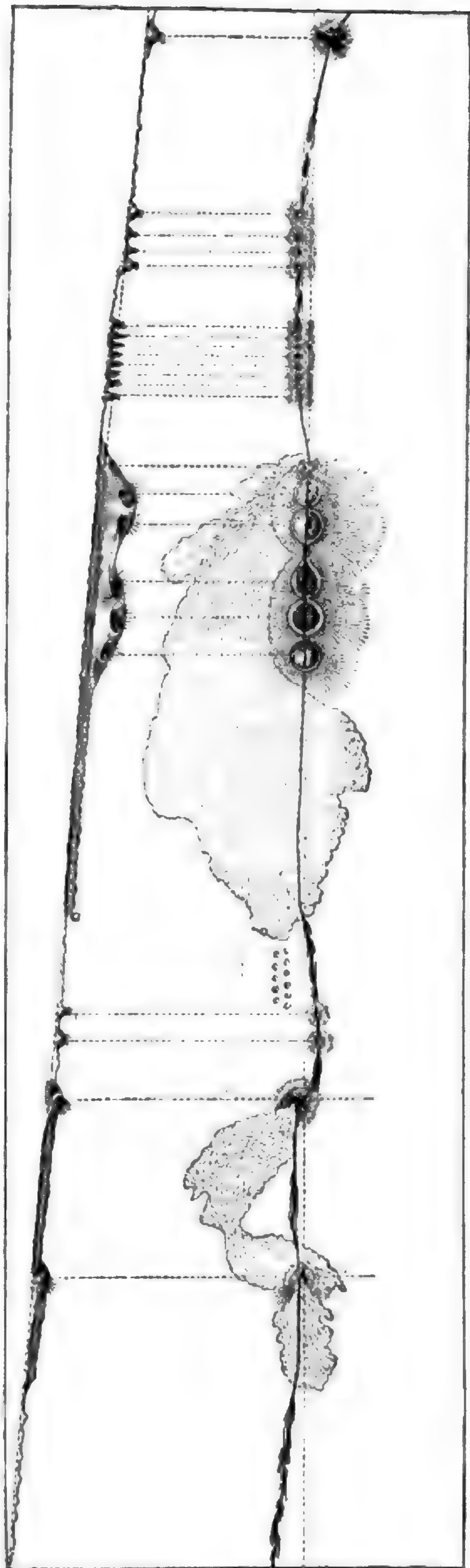
Anfangs steigt der Ätna sehr langsam und allmählich an; dann beginnt eine etwas stärkere Neigung, der Berg erhebt sich in Form eines stark abgestumpften Kegels, der die Reste eines alten eingestürzten Kraters, einer Art Somma, zeigt. Eine ziemlich ebene Terrasse schließt sich hier an, der Piano del Lago, auf welchem die Unterkunftshütte für die Ätnabesteiger, die Casa inglese, steht, und darüber erhebt sich der jetzige Gipfelkrater.



Der Ätnakrater im Jahre 1838 (nach Sartorius von Waltershausen).

Das Innere desselben ist fortwährenden Veränderungen unterworfen; die Abbildungen auf S. 193 und die obenstehende zeigen uns den Zustand desselben in drei aufeinander folgenden Phasen aus dem Anfange unsers Jahrhunderts.

Einen der merkwürdigsten Züge des Ätna bildet die gewaltige Thalschlucht, das Valle del Bove, welches von Osten her tief ins Innere des Berges einschneidet; schroffe Felswände umschließen zu beiden Seiten diese öde Wildnis, die außer von einigen Hirten mit ihren Herden nur selten betreten wird. Dieses merkwürdige Thal hat den Geologen, welche seine Entstehung zu erklären suchten, viele Schwierigkeiten bereitet. Die einen sahen darin eine Art von Erhebungskrater, andre eine Spalte, die bei einem Ausbruche entstanden und dann durch die auswaschende Thätigkeit des Wassers erweitert worden sei, und noch manche Deutungsversuche wurden gemacht. Das wahrscheinlich richtige Verständnis verdanken wir den Arbeiten von Sartorius von Waltershausen, der das Studium des Ätna zu seiner Lebensaufgabe gemacht hatte und diese Aufgabe auch in mustergültiger Weise gelöst hat. Wir wollen den Fall etwas näher betrachten, da er für die Entwickelungsgeschichte der Vulkane im allgemeinen von Interesse ist.



Ausbruchspalte des Ätna (nach Silvestri). Vgl. Text, S. 196.

Wir wählen zum Ausgangspunkte der Betrachtung die wohlbekannten Verhältnisse am Vesuv: im Jahre 79 stürzte ein Teil des alten Vesuv, der Somma, ein, und im Zentrum des ganzen Vulkanes bildete sich der neue Vesuv. Denken wir uns nun, in jenem Jahre hätte sich der neue Vesuv nicht an dieser Stelle gebildet, sondern es wäre eine Verlegung des Eruptionsmittelpunktes erfolgt und zwar auf die Mitte des stehen gebliebenen Sommawalles, so würde alles Regenwasser, würden alle die Wassergüsse, die bei heftigen Ausbrüchen herabbrausen, soweit sie auf den Innenraum der Somma niederfallen, sich auf der Seite gegen Torre del Greco oder gegen Torre dell' Annunziata Abfluß suchen müssen; sie hätten eine Schlucht eingeschnitten, und aus dem ehemaligen Sommakrater wäre ein tief ins Innere des Berges eindringendes Thal gebildet worden, das in kleinerm Maßstabe uns ungefähr die Verhältnisse des Valle del Bove am Ätna darstellt.

Sartorius von Waltershausen hat dargethan, daß am Ätna die Verhältnisse in der That so liegen, wie wir es hier im ersonnenen Falle angenommen haben. Er zeigte, daß im Valle del Bove die Spuren eines ältern Eruptionszentrums deutlich nachweisbar sind; die ältern Lava- und Tuffschichten fallen alle von einem Punkte im Valle del Bove, dem sogenannten Trifolietto, ab, und nach diesem Punkte konvergieren die ältern Lavagänge, während die jüngern Laven und Tuffe deutlich auf den jetzigen Krater hinweisen, den die jüngern Gänge zum Mittelpunkte haben. Wir müssen also annehmen, daß in früherer Zeit ein Krater ähnlich dem jetzigen sich südöstlich von diesem über dem Trifolietto erhob, daß dann bei einem Paroxysmus dieser Berg zerstört wurde und das Valle del Bove entstand, auf dessen nordwestlicher Umrandung der neue Gipfel sich aufbaute.

Der Ätna scheint seit unvordenklicher Zeit ein thätiger Vulkan zu sein, an welchem mächtige Ausbrüche im Durchschnitte alle zehn Jahre wiederkehren, während in der Zwischenzeit verhältnismäßig tiefe Ruhe herrscht. Wohl die heftigste Eruption, die wir kennen, ist die

vom Jahre 1669, bei welcher die bei Nicolosi gelegenen Kegel der Monti Rossi sich bildeten. Sie dauerte $3^1/_2$ Monate, der Gipfel des Ätna stürzte ein, und seine Flanke wurde durch eine riesige Spalte von 18 km Länge aufgerissen, an deren unterm Ende die Lava ausbrach und die Monti Rossi entstanden; der austretende Strom bedeckte eine Fläche von etwa 50 qkm, zerstörte zwölf Ortschaften ganz oder zum Teile, dazu die größere Hälfte der Stadt Catania und schob sich noch einige Hundert Meter weit ins Meer vor.

Eine ähnliche, wenn auch kleinere Spalte, welche einem der jüngsten Ausbrüche angehört, zeigt die Abbildung auf S. 195. Die obere der beiden Zeichnungen stellt die Verhältnisse in Form einer Karte dar; die Spalte ist durch die kräftige schwarze Linie angegeben. Auf derselben stehen 23 parasitische Krater, aus welchen vier Lavaströme hervorgingen. Die untere Zeichnung veranschaulicht dieselben Objekte, im Profile gesehen.

In mancher Beziehung haben Ätna und Vesuv Verwandtschaft, und speziell ist das Valle del Bove mit dem Atrio del Cavallo seiner Entstehung nach verwandt. Auch die Lage den ältern, nicht vulkanischen Bildungen gegenüber ist bei beiden eine analoge. Jede Karte von Italien zeigt, daß die Westküste der Halbinsel vielfach durch große, halbkreisförmig einspringende Buchten ausgerandet ist; die Golfe von Gaeta, von Neapel, Salerno, Policastro und Sant' Eufemia gehören in diese Klasse. In einem dieser einspringenden Kessel steht der Vesuv. Denken wir uns die riesige Masse der vulkanischen Produkte des Ätna hinweg, so sehen wir hier eine tiefe Bucht in die Ostküste von Sizilien eindringen, in der sich der Vulkan im Laufe vieler Jahrtausende aufgebaut hat; er steht den ältern sedimentären Gesteinen des peloritanischen Gebirges ebenso fremd gegenüber wie der Vesuv den Bergen von Sorrento.

Über die Insel **Pantellaria**, südlich von Sizilien, ist verhältnismäßig wenig zu berichten; sie ist ein alter, erloschener Vulkan, der in historischer Zeit nicht thätig war. Um so größeres Interesse bietet dagegen ein Punkt, der zwischen Pantellaria und Sizilien, nordöstlich von ersterer Insel, liegt. Hier befindet sich jetzt eine Untiefe im Meere, wo vor dem Jahre 1831 das Senkblei bei 100 Faden keinen Grund gefunden hatte. In der Zwischenzeit hat daselbst für wenige Monate eine **untermeerische Eruption** eine Insel aufgeworfen, die kurz nach ihrer Entstehung von den Wogen wieder zerstört worden ist. Am 28. Juni 1831 passierte ein englisches Schiff die unter 37° 2′ nördlicher Breite und 30° 16′ östlicher Länge von Ferro gelegene Stelle und fühlte im offenen Meere heftige Stöße, als ob es an einer Sandbank festgefahren wäre. Am 8. Juli kam eine sizilische Brigantine dort vorbei, und ihr Kapitän bemerkte, daß eine Wassermasse 60 Fuß hoch über den Meeresspiegel emporgeschleudert wurde; 10 Minuten lang sprudelte das Wasser empor und sank dann wieder zurück, und eine dichte Rauchwolke entwickelte sich unter heftigem Getöse; etwa alle 15—30 Minuten wiederholte sich die Eruption. Am 10. Juli berichtet ein andrer sizilischer Schiffsführer, daß er eine Wassermasse 60 Fuß hoch und 800 Ellen im Umfange sich aus dem Meere erheben sah; dann stieg eine Dampfsäule etwa 1800 Fuß hoch empor. Am 12. Juli bemerkte man bei Sciacca an der sizilischen Küste, daß vulkanische Auswurfsprodukte und tote Fische angeschwemmt wurden, und am 13. Juli sah man eine Rauchsäule, die nachts hell leuchtete. Am 18. August kam jenes sizilische Schiff wieder an die Stelle und fand eine kleine Insel, 12 Fuß über den Meeresspiegel hervorragend, in ihrer Mitte mit einem Krater, der lose Auswürflinge und eine gewaltige Dampfwolke ausstieß.

Am 20. Juli trafen vier deutsche Geologen bei der neuen Insel ein, welche den Namen **Ferdinandea**[1] erhalten hatte; es waren **Philippi**, **Hofmann**, **Escher von der Linth** und **Schulz**. „Als sie in die Nähe der Insel kamen, sahen sie, daß dieselbe aus dem

[1] Auch Insel Julia, Graham-, Hotham-, Corrao- oder Nerita-Insel genannt.

Rande eines Kraters bestand, der noch fortwährend Schlacken auswarf; geräuschlos stiegen, zu mächtigen Kugeln geballt, Dämpfe, weiß wie frische Baumwolle, auf, welche zusammen eine wohl 2000 Fuß hohe Säule bildeten. Alle 2—3 Minuten fuhren dunkle Schlacken durch die weiße Rauchmasse blitzschnell hindurch; plötzlich folgte aber ein so dichter Auswurf von Schlacken, daß diese eine 600 Fuß hohe Säule zu bilden schienen, die sich am obern Ende garbenförmig ausbreitete. Die emporgeschleuderten Steine waren ganz schwarz, nur zuweilen zuckten helle Blitze durch, welche sich nach allen Richtungen verbreiteten. Diese Eruption war von keinem Getöse begleitet, man vernahm nur das Rasseln der zusammentreffenden und auf den Kraterring niederfallenden Schlacken; dieser Ausbruch dauerte etwa 8—10 Minuten ununterbrochen. Um diese Zeit schien die Insel auf der östlichen Seite am höchsten, etwa 60 Fuß hoch, und hatte einen Durchmesser von 800 Fuß." (C. Fuchs.)

Am 2. August nahmen die Engländer von der Insel Besitz; späterhin folgten mehrfache Besuche. Zur Zeit ihrer größten Entwickelung hatte die Insel einen Umfang von etwas über 2000 Fuß und eine Höhe von 200 Fuß; sie stieg sehr steil vom Grunde empor, denn ganz in ihrer Nähe fand man eine Meerestiefe von 700 Fuß. Die Nordostseite des Kraters war eingestürzt und dieser von Wasser erfüllt, das in beständig siedender Bewegung war. Die Macht der Eruption hatte schon sehr abgenommen, bereits seit dem 12. August hatte man die Rauchsäule von der sizilischen Küste aus nicht mehr gesehen. Die ganze Insel bestand aus lauter losem Materiale, Schlacken, Sand, Asche 2c., nur wenige Stücke hatten mehr als einen Fuß im Durchmesser; durch die Aufschüttung waren diese Materialien geschichtet und zwar in der bekannten und charakteristischen Weise, daß die Bänke im äußern Teile allseits gegen das Meer einfielen, innerhalb des Kraterwalles aber gegen die Bocca.

Bei ihrer außerordentlich geringen Konsistenz konnten diese losen Massen dem Anpralle des brandenden Meeres wenig Widerstand entgegensetzen; schon Ende Oktober war der Krater verschwunden, die Insel ragte kaum mehr über den Meeresspiegel empor, nur an einer Stelle war ein kleiner Hügel von Sand und Schlacken vorhanden; gegen Ende des Jahres war alles verschwunden, ja es wird berichtet, daß an Stelle der Insel schon um diese Zeit eine Tiefe von 24 Faden vorhanden gewesen sei. Doch scheint diese Angabe unrichtig zu sein und sich hier bis gegen Ende 1833 eine den Schiffen gefährliche Untiefe erhalten zu haben; dunkler vulkanischer Grund war unter dem seichten Wasser zu sehen. Auch dies ist längst nicht mehr vorhanden. Ist damit die Geschichte dieser ephemeren Insel abgeschlossen, oder war es nur der erste Akt einer größern vulkanischen Entwickelung, die noch folgen und eine definitive Insel bilden wird? Wir wissen es nicht, wenn auch das letztere ziemlich wahrscheinlich ist; der erste Beginn der Bildung jener großen Menge von vulkanischen Inseln und Inselgruppen, wie wir sie in allen Meeren kennen, muß einen ähnlichen Verlauf gehabt haben, wie ihn uns die Insel Ferdinandea kennen gelehrt hat. Aber auch abgesehen von Ferdinandea, sind an der Südküste von Sizilien noch Punkte, an welchen submarine Ausbrüche vorkommen; ein solcher wurde in der Nacht vom 4. auf den 5. Oktober 1846 vor Siculiana bei Girgenti beobachtet, ein andrer am 18. Juni 1845 etwas weiter gegen Südosten unter 36° 40′ 56″ nördlicher Breite und 13° 44′ 36″ östlicher Länge von Greenwich.

Man kennt noch einige Beispiele von Inseln, die sich durch vulkanische Thätigkeit unter den Augen der Menschen gebildet haben und teils erhalten geblieben, teils durch die Brandung des Meeres wieder zerstört worden sind. Außer den Erscheinungen von Santorin im Griechischen Archipel, von dem später noch die Rede sein wird, sind hier namentlich mehrfache Inselbildungen in der Gruppe der Azoren zu erwähnen, die in den Jahren 1638, 1720, 1757 und 1811 stattfanden, ohne daß ein bleibendes Resultat erzielt worden wäre. Ebenso verhält es sich an der Küste von Island; hier befindet sich bei Kap Rejkianäs an der südwestlichen Spitze des Landes ein sehr thätiger submariner Vulkan, von

dem schon 13 Ausbrüche bekannt geworden sind. Derselbe bildete im Jahre 1240 mehrere kleine Inseln, die bald wieder verschwanden, und auch eine größere Insel mit einigen Bergen, die im Jahre 1783 hier aufgeschüttet wurde, hatte kaum mehr als ein Jahr Bestand.

Dagegen scheinen unter den Liparen, nördlich von Sizilien, dauernde Neubildungen stattgefunden zu haben, da die Alten hier nur sieben Inseln aufzählen, während jetzt deren weit mehr vorhanden sind. Es deuten auch einige Berichte aus dem Altertume auf solche Ereignisse, doch wäre es auch wohl möglich, daß die alten Geographen nur die Hauptinseln aufgezählt haben, deren auch jetzt sieben sind, und die kleinern übergingen. Mit voller Sicherheit aber kennen wir nur in einem Falle die Entstehung einer bleibenden Insel in historischer Zeit: in der Kette der Aleutischen Inseln, welche, dem Beringsmeere südlich vorgelagert, sich vom nordwestlichen Amerika in der Richtung gegen Kamtschatka erstrecken, fand nahe der Insel Umnak in den ersten Tagen des Mai 1796 ein Vulkanausbruch im Meere statt. Anfangs zeigte sich eine mächtige Rauchsäule, die umliegenden Inseln wurden von Erdbeben erschüttert, und unterirdisches Gebrüll ließ sich vernehmen; es bildete sich allmählich ein kleiner Vulkan, der Schlacken emporwarf und sich im Verlaufe eines Monates, während dessen der Ausbruch anhielt, wesentlich vergrößerte. Die Heftigkeit ließ nun nach, aber Rauch und Steine wurden noch immer hervorgestoßen, und die Insel wuchs fortwährend an. Erst nach acht Jahren gelang es, den Ort zu besuchen, aber noch war der Boden so warm, daß es nicht möglich war, zu landen. Immerwährend dauerten die Ausbrüche fort, und im Jahre 1806 hatte die neue Insel Joanna Boguslawska einen Umfang von $2^1/_2$ Meilen und eine Höhe von 300 Fuß, im Jahre 1819: 4 geogr. Meilen im Umfange und eine Höhe von 2000 Fuß; um 1823 ließen die Eruptionen nach, und der Umfang verminderte sich nun rasch, so daß er 1832 nur noch 2 Meilen betrug. Doch soll sie noch heute existieren und Aussicht haben, sich zu erhalten, da sie nicht nur aus losen Auswürflingen aufgeschüttet ist, sondern auch feste Lavaströme enthält.

Noch andre bald mehr, bald weniger zuverlässige Berichte werden über analoge Erscheinungen aufbewahrt: im Jahre 1825 soll eine Insel nördlich von Neuseeland entstanden sein, und aus dem Jahre 1820 wird berichtet, daß die ionische Insel Leukadia (Santa Maura) mehrere Tage hindurch von einem heftigen Erdbeben heimgesucht worden sei, nach dessen Ende südlich von Leukadia ein neues Inselchen bemerkt wurde. Da nichts von einem Vulkanausbruche erwähnt wird, so würde diese anscheinend wenig zuverlässige Angabe kaum erwähnenswert sein, wenn nicht neuerdings ein österreichisches Schiff in derselben Gegend, südlich von Santa Maura, eine Untiefe entdeckt hätte, die auf keiner Seekarte verzeichnet ist und ganz neu entstanden sein soll, da sie sonst in diesem außerordentlich frequenten Meeresgebiete der Aufmerksamkeit gewiß nicht entgangen wäre.

Es mögen bei dieser Gelegenheit einige Bemerkungen über unterseeische Vulkane Platz finden, welche zu keiner Inselbildung Anlaß gegeben haben. Fast alle thätigen Vulkane liegen in der Nähe des Meeres und die bedeutende Mehrzahl derselben auf Inseln. Bei der ungeheuern Ausdehnung der Ozeane liegt nun die Vermutung nahe, daß die Feuerberge, welche auf festem Lande stehen, eine verhältnismäßig nicht sehr große Zahl bilden und die Mehrzahl derselben vom Wasser bedeckt ist. Daß die Zahl der Eruptionen im offenen Meere, von denen wir wissen, keine sehr große ist, würde sich dadurch erklären, daß in großen Tiefen unter einer Wassersäule von 2000 bis 4000 Faden solche Katastrophen stattfinden werden, ohne daß man an der Oberfläche etwas davon bemerkt, oder doch hier nur schwache Wirkungen hervorbringen, die nur selten von zufällig vorbeifahrenden Schiffen beobachtet werden und dann zur Kenntnis gelangen. Wäre dieses jedoch wirklich der Fall, so müßten die neuern Tiefseeuntersuchungen uns mehr Kunde von Produkten solcher Ausbrüche geliefert haben, man müßte eine größere Zahl von Bodenanschwellungen gefunden

haben; es scheint daher, daß, wie Scrope bemerkt, die größere Zahl habitueller unterseeischer Vulkanessen sich schon bis zum Meeresspiegel emporgebaut haben und Inseln bilden.

Immerhin existieren sicher submarine Vulkane. Von Zeit zu Zeit erhält man Berichte, daß ein Schiff mitten im Ozeane eine Wassersäule aufsteigen sah oder die Mannschaft einen schwefligen Geruch bemerkte, das Wasser mißfarbig war und man einen Stoß fühlte, als ob eine Sandbank angerannt worden wäre; natürlich erfordern solche Berichte viel vorsichtige Kritik, Irrtümer und Täuschungen sind nicht ausgeschlossen, aber gewiß ist auch manche wichtige Wahrheit darin enthalten. Leider ist noch nie versucht worden, diese Nachrichten zu sammeln. Hier sei nur erwähnt, daß eine Stelle im Atlantischen Ozeane ungefähr an seiner engsten Stelle, zwischen Afrika und Südamerika, mit Sicherheit als ein dauernder vulkanischer Herd erkannt worden ist. Unter 20—22° östlicher Länge von Greenwich und etwa ½° südlich vom Äquator ist das Zentrum einer Region, in welcher seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts wiederholt Stöße, aufgeregtes Wasser, schwimmende Bimssteinstücke und Rauchsäulen beobachtet worden sind, und es ist ziemlich wahrscheinlich, daß im Laufe der Zeit sich eine Insel oder eine Inselgruppe bilden wird. Es scheint, daß sich hier eine mächtige Spalte schräg durch den Atlantischen Ozean hinzieht, denn dieser Herd vulkanischer Thätigkeit liegt genau in der Verlängerung einer Linie, welche die zwei isolierten Vulkaninseln St. Helena und Ascension verbindet, und deren weitere Fortsetzung nahe am St. Pauls-Felsen vorübergeht, einer einsamen kleinen Serpentinklippe mitten im Meere.

Wir kehren zu unserm Ausgangspunkte zurück, zu den italienischen Inselvulkanen. Nördlich von Sizilien liegt eine sehr wichtige Gruppe von vulkanischen Inseln, die Liparen. Sieben größere Inseln sind in der Weise angeordnet, daß sie auf drei vom Zentrum der Gruppe ausstrahlenden geraden Linien stehen; eine Linie nach Westen trägt Salina, Felicudi und Alicudi, nach Süden sind Lipari und Volcano nebst Volcanello angereiht, und eine Fortsetzung zeigt sich in einer am Kap Calava auf Sizilien auftretenden Fumarole, während Panaria und Stromboli mit Stromboluzzo und Basiluzzo in nordöstlicher Richtung stehen. Wir haben schon mehrfach angedeutet, daß reihenförmig angeordnete Vulkane aller Wahrscheinlichkeit nach mit in die Tiefe setzenden Spalten der Erdrinde im Zusammenhange stehen, und wir hätten dann hier in der Mitte der Liparen ein Zentrum, von dem aus radiale Sprünge nach verschiedenen Richtungen ausgehen.

Das wichtigste Glied dieser Inselgruppe bildet der Stromboli, ein fortwährend thätiger Vulkan von einem Charakter, den wir bisher noch nicht kennen gelernt haben. Aus frühem Altertume sind uns Berichte überliefert, aus welchen hervorgeht, daß der Berg in der Zeit von vielleicht 3000 Jahren seinen Charakter nicht wesentlich geändert hat; er befindet sich in ununterbrochen periodischer Thätigkeit, ohne Unterlaß, aber auch ohne heftige Paroxysmen. Sein regelmäßiger Kegel, mit leichter Rauchwolke gekrönt, ist wohl jedem bekannt, der die Fahrt von Neapel nach Palermo oder Messina gemacht hat. Der Berg hat eine Höhe von etwa 900 m (die vorliegenden Angaben schwanken zwischen 853 und 979 m), der Hauptkrater ist gegen Osten etwas ausgerandet und hat in seinem Grunde, etwa 300 Fuß tiefer als der Rand, zwei Bocche, in deren einer man die flüssige Lava stehen sieht. Dieselbe ist fast weißglühend und steigt oder fällt abwechselnd in Perioden von 10 bis 15 Minuten. Hat sie beim Aufsteigen den Rand der Mündung erreicht, so explodiert aus derselben eine dichte Dampfmasse, welche glühende Lavafetzen und zerrissene Schlackenmassen einige Hundert Fuß hoch in die Luft schleudert; die meisten fallen wieder in den Krater zurück, so daß man sich ohne Gefahr an dessen Rand aufstellen und dem Spiele des Vulkanes zusehen kann.

Es ist höchst merkwürdig, daß in einer solchen Feueresse sich ein Zustand des Gleichgewichtes, wie ihn diese rhythmischen Auswürfe bezeugen, seit Jahrtausenden erhalten

konnte. Wir sind gewohnt, in den Vulkanen Wirkungen einer regel- und gesetzlos wütenden Kraft zu sehen, und stehen nun vor der Thatsache, daß lange Zeiträume hindurch sich ein Gleichgewichtszustand erhält, so fein reguliert, daß die geringsten Änderungen des Druckes schon merkliche Abweichungen hervorbringen. In der That ist die Thätigkeit des Stromboli vom jeweiligen Barometerstande wesentlich beeinflußt; es ist bei den Umwohnern eine bekannte Regel, daß bei Scirocco die Explosionen häufiger und stärker sind, und daß vermehrter Rauch Stürme und schlechtes Wetter voraussagt. Die Schiffer richten sich mit ihren Fahrten und Unternehmungen nach diesem Zeichen, das die Erfahrung von Jahrhunderten bestätigt hat. Auch ist es bemerkenswert, daß die uralten griechischen Schiffersagen, wie wir sie in der Odyssee aufbewahrt finden, hierher die Residenz des Äolus, des Königs der Winde, verlegt:

„Denn ihn hatte Kronion zum Herrscher der Winde geordnet,
Sie durch seinen Befehl zu empören oder zu schweigen".

Diese Sage weist darauf hin, daß schon in jener frühen Zeit die „äolische Insel" eine bestimmte Beziehung zu Wind und Wetter äußerte, und daß schon damals dieselbe Abhängigkeit der periodischen Ausbrüche von den meteorologischen Faktoren herrschte. Der Grund der Erscheinung kann nur darin gesucht werden, daß bei stärkerm Drucke der Atmosphäre, bei hohem Barometerstande, also im großen und ganzen bei bevorstehendem guten Wetter, die aufsteigende Dampfblase im Krater, welche eine Explosion verursacht, unter stärkerm Drucke steht, also größern Widerstand zu überwinden hat als bei niederm Barometerstande, bei dem die Ausbrüche häufiger erfolgen.

Es sind nur wenige Vulkane auf Erden, die, wie der Stromboli, in fortwährender Thätigkeit sind, und wohl keiner ist durch dieselbe Regelmäßigkeit ausgezeichnet. Es wird noch der Asama-Yama auf Japan, der sich seit einem heftigen Paroxysmus im Jahre 1783 in unausgesetzter Thätigkeit befinden soll, erwähnt; ferner wird der Vulkan Sioa auf den Molukken und der Tofua auf einer der Freundschaftsinseln sowie der Masaya in Nicaragua angeführt. Das berühmteste Beispiel aber bietet der riesige, 5223 m hohe Sangai in Ecuador, über den Alex. von Humboldt im „Kosmos" wichtige Nachrichten gibt. Im Jahre 1849 wurde dieser in schwer zugänglicher Gegend gelegene Riesenberg von Sebastian Wisse erstiegen, und dieser beobachtete in einer Stunde 267 Explosionen, deren jede Rauch, Asche, Rapilli und eine Anzahl größerer Steine auswarf; neuerdings aber hat die strenge Regelmäßigkeit aufgehört, und Zeiträume von einigen Stunden liegen zwischen den einzelnen Ausbrüchen.

Außer dem Stromboli ist noch Volcano ein aktiver Berg, doch sind seine Eruptionen selten Solche traten in den Jahren 1775 und 1786 ein, dann versank der Krater in Ruhe und äußerte nur Solfataren- und Fumarolenthätigkeit, bis er im Jahre 1873 einen Ausbruch hatte, über welchen Baltzer berichtete. Die Insel hat einen ausgebildeten Kraterkegel, der von einer weiten, halbkreisförmigen Somma umrahmt wird; er steht jedoch nicht genau in der Mitte dieser, sondern ist etwas nach außen, nach der eingebrochenen Seite der Somma, gerückt, während noch weiter in dieser Richtung ein kleiner jüngerer Krater, Volcanello, steht, der mit der Hauptinsel nur durch eine schmale Landzunge verbunden ist. Das Material, aus welchem sie alle aufgebaut sind, besteht aus Trachyt, Obsidian und Bimsstein.

Besonders bemerkenswert ist Volcano durch einige sehr eigentümliche Produkte seines Kraters; die Gase, welche während seiner gewöhnlichen Solfatarenthätigkeit ausgestoßen werden, bestehen hauptsächlich aus Wasserdampf, Salzsäure und Schwefelwasserstoff, denen noch Salmiak und die so selten auftretende Borsäure beigemischt sind. Vermutlich sind noch andre Gase, Stickstoff und Kohlensäure, vorhanden; doch liegt keine genaue Analyse vor. Die wertvollen Bestandteile der Fumarolen werden in sehr einfacher Weise gewonnen, indem man auf die Mündungen der schwächern Ausströmungen lockeres Material, vulkanische

Asche rc., wirft; die Gase sind gezwungen, durch diese Lage hindurchzustreichen, und setzen Alaun, Schwefel, Salmiak und Borsäure in Kristallen ab. Nach einiger Zeit wird dann die Asche von den Mündungen weggenommen und als Rohmaterial zur weitern Verarbeitung in die Fabrik gebracht. Volcano und die früher erwähnten Solfataren in Toscana sind daher die hauptsächlichsten Boraxlieferanten. Auch die Aschen von Volcano sind merkwürdig. Baltzer hat gezeigt, daß eine weiße Asche, die im Jahre 1873 ausgeworfen wurde, aus reiner Kieselsäure in rhombischer Kristallform, sogenanntem Tridymite, besteht, eine andre vorwiegend aus Gips.

Die Insel Lipari, die bedeutendste der ganzen Gruppe, befindet sich jetzt nicht in eruptiver Thätigkeit, ihre ehemaligen Feuerberge, deren Kegel noch sehr gut erhalten sind, scheinen erloschen, doch sind noch einige an Schwefelwasserstoff reiche heiße Quellen als Reste der frühern Thätigkeit vorhanden. Besonders bemerkenswert ist die Entwickelung, welche hier die sehr kieselsäurereichen trachytischen Laven erreichen. Sie ist so auffällig, daß sich J. Roth veranlaßt sah, diese ganze Gruppe von Gesteinen allgemein nach dieser Lokalität als Liparite zu bezeichnen. Mächtige Ströme glasigen Obsidianes, auch körnige Trachyte, treten auf; vor allem aber ist Bimsstein hier in ganz kolossaler Entwickelung vorhanden. Derselbe ist ein glasiges, aber überaus poröses, schwammiges oder schaumartiges Gestein, ein von zahllosen Luftblasen durchsetztes Gewebe glasiger Häute, meist von heller, selten von schwärzlicher Farbe. Der Bimsstein unsrer europäischen und wohl der meisten Vulkane überhaupt ist ein sehr kieselsäurereiches Glas, allein die Südseeinseln haben nach Cohen auch kieselsäurearme schaumige Gläser, Basaltbimssteine, geliefert.

Infolge der großen Menge von Luftblasen, die der Bimsstein enthält, schwimmt er auf dem Wasser, bis dieses in alle Hohlräume eingedrungen ist und die Luft ausgetrieben hat. So kommt es, daß dieses Material durch Meeresströmungen und Winde weit von seinem Ursprungsorte fortgetrieben werden und in großer Entfernung von letzterm zur Ablagerung gelangen kann. Nach dem großen Ausbruche des Vulkanes Conseguina in Nicaragua traf das Schiff Conway unter 7° 26′ nördlicher Breite und 104° 45′ westlicher Länge von Greenwich auf große Mengen schwimmenden Bimssteines; in einer Entfernung von 1100 engl. Meilen vom Ausbruchspunkte hatte das Schiff eine 40 Meilen breite Zone zu passieren, die ganz mit Bimsstein bedeckt war. Dieses merkwürdige Material, das hauptsächlich unter den losen Auswürflingen vieler, aber nicht aller Vulkane, seltener unter den Lavaströmen vorkommt, ist namentlich auf Lipari im größten Maße vorhanden und nimmt an dem Aufbaue der Insel den wesentlichsten Anteil. Die Steinbrüche am Capo Bianco auf Lipari liefern so ziemlich allen Bimsstein, der in Europa in den Handel kommt.

Eine andre Gruppe vulkanischer Inseln an der Küste Italiens zieht sich westlich vom Golfe von Gaeta hin; es ist die Gruppe der Pontinischen Inseln: Ponza, Ventotene, Palmarola, Zanone und San Stefano, die von Scrope und in neuerer Zeit von Dölter näher untersucht worden sind. Wir haben es hier nicht mehr, wie in den bisher besprochenen Fällen, mit dem Schauplatze ganz junger Eruptionen zu thun, sondern mit den Trümmern und Überresten tertiärer Vulkane. Wir können sie also nicht in eine Linie mit den bisher betrachteten Feuerbergen stellen, welche zwar teilweise erloschen sind, aber doch in einer, geologisch gesprochen, noch jungen Periode Ausbrüche hatten. Es gibt auch in Italien mehrere solcher älterer Gebilde, unter denen namentlich die inselartig aus der Poebene aufragende Berggruppe der Euganeen und die sehr verbreiteten Basalte der Umgebung von Verona und Vicenza zu nennen sind, die sich noch in mehrfachen Ausläufern ins Gebiet der Südalpen, namentlich ins Etschthal, hinauf erstrecken, aber alle diese Vorkommnisse gehören dem ältern Teile der Tertiärzeit an.

Zerstörung der Vulkanberge.

Wir wollen dieses letztere Gebiet, die Euganeischen Berge südlich von Padua, an der Hand der Darstellung von Sueß etwas näher betrachten, um an denselben die Schicksale eines seit Millionen von Jahren erloschenen und der zerstörenden Thätigkeit der Erosion verfallenen Vulkangebietes kennen zu lernen. An keinem andern Beispiele treten uns diese in so vieler Hinsicht wichtigen Verhältnisse klarer entgegen als in dieser kleinen, durch landschaftlichen Reiz wie durch interessante geologische Erscheinungen ausgezeichneten Berggruppe.

Die Euganeen bestehen aus sedimentären Ablagerungen des Jura, der Kreide und des ältern Tertiär, ferner aus den Trachyten, Basalten und ihren Tuffen. Wenn wir von der ziemlich isolierten, nach Osten vorgeschobenen Berggruppe des Monte Sieve bei Battaglia absehen, die wahrscheinlich ein selbständiges Eruptionszentrum bildet, so sind, in den großen Hauptzügen betrachtet, die Verhältnisse folgende: Der nördliche und der südliche Teil der Berggruppe bestehen vorwiegend aus Hügeln von Sedimentärablagerungen, welche häufig aufgelagerte Kuppen von Trachyt tragen; das Zentrum des Terrains nehmen Trachyttuffe ein, welche von zahlreichen Trachytgängen durchzogen werden, von denen einige auch in den Bereich der am Rande stehenden Sedimentärhügel hinausreichen. Die Gänge sind der großen Mehrzahl nach in der Weise angeordnet, daß sie in ihrer Richtung strahlenförmig gegen einen im Zentrum der ganzen Gruppe am östlichen Ende des Monte Venda gelegenen Punkt zusammenlaufen. Der Venda selbst und seine Umgebung besteht aus Tuffen, und aus diesen ragen die größern und mächtigern Gänge, die aus festem Trachyte bestehen, als langgestreckte, oft sehr steile Bergkämme hervor. So besteht der schroffe Felsrücken des Monte Pendise, der die Trümmer der Ezzelinsburg trägt, aus einem Radialgange, ein andrer trägt das Kloster Rua, und in dieser Weise gruppiert sich eine ganze Anzahl von stärkern und schwächern Gängen strahlig um den Zentralpunkt am Venda.

Versuchen wir eine Deutung dieser Erscheinung, so müssen wir uns wieder den Bau eines großen Vulkankegels, etwa von der Beschaffenheit des Ätna, und die Schicksale, welche dieser bei der Erosion erleidet, vergegenwärtigen. Der Hauptkegel besteht wesentlich aus aufgeschüttetem Tuffmateriale, einige Lavaströme mögen aus dem Zentralkrater ausgeflossen sein, die Mehrzahl aber hat sich, wenn wir den Ätna zum Typus nehmen, an den Flanken des Berges aus parasitischen Kratern ergossen. Diese erhalten ihre Laven aus dem zentralen Vulkanschlote dadurch, daß in den Seiten des Berges sich eine Spalte bildet, die sich mit geschmolzenem Materiale füllt, und daß dieses nun am tiefsten Punkte, an welchem die Spalte die Seiten des Berges erreicht, austritt. Ist die Eruption beendet und die Lava erstarrt, so hat sie nicht nur einen Strom auf dem Gehänge erzeugt, sondern auch die Spalte mit festem Materiale erfüllt, einen Lavagang gebildet. Ist der Vulkan definitiv erloschen, dann ergreift die Verwitterung zunächst die losen, tuffigen Aufschüttungsmassen des Hauptkegels und reduziert dieselben auf ein niedrigeres Niveau, an den peripherischen Teilen aber ragen allmählich die Gänge als feste Rippen über die sanftere Böschung der Tuffe empor. Die Lavaströme werden zwar an sich auch der Verwitterung verhältnismäßig bedeutenden Widerstand entgegensetzen; da sie aber auf loser Aufschüttungsgrundlage ruhen, so werden sie, allmählich unterwaschen, zusammenbrechen und so ebenfalls der Zerstörung unterliegen. Anders dagegen wird es sich in den vom Zentrum entferntern Teilen verhalten, wo die Lavaströme nicht mehr auf losem vulkanischen Materiale liegen, sondern sich etwa über festen ältern Sedimentärgesteinen ausgebreitet haben; hier werden die Stromenden als isolierte Trachyt- oder Basaltpartien auftreten, welche auf den höhern Partien der Sedimentärgesteine kuppenförmig aufruhen.

In dem so geschilderten Stadium der Abtragung befinden sich heute die Euganeen. Um die Mitte der Tertiärzeit, als ihre Thätigkeit endgültig erlosch, mag über dem Zentralpunkte des Venda ein Aufschüttungskegel, ähnlich dem Ätna, gestanden haben, dessen Reste in den zentralen Tuffmassen zu suchen sind. Die Gänge, die vom Venda ausstrahlen, sind die Ausfüllungen jener Spalten, welche einst den Seitenausbrüchen und den parasitischen Kratern das Lavenmaterial zuführten, und die Reste der Stromenden sind in jenen Trachytkuppen erhalten, die auf den höhern Partien der mesozoischen und tertiären Sedimente an den Rändern des Gebirges aufliegen.

Besonderes Interesse gewinnt noch der westlichste Teil der Euganeen, indem sich hier bei dem Weiler Fontana Fredda Spuren eines Lakkolithen finden, ähnlich, wie wir sie oben aus den westlichen Territorien der Vereinigten Staaten, den Henry Mountains rc., kennen gelernt haben. Hier tritt in tiefem Niveau eine mächtige Masse von Trachyten auf, welche von Schichten des obern Jura und der untern Kreide unmittelbar überlagert werden; der Jurakalk ist, wo er den Trachyt berührt, stark verändert und hat kristallinische Struktur angenommen. Die Erosion ist also hier so weit vorgeschritten, daß der ursprüngliche Zentralkegel bis auf einige Tuffrücken verschwunden ist, daß von den Strömen sich nur die Enden erhalten haben und an einigen Punkten tiefer liegende Trachytmassen unter den Schichten des Jura und der Kreide zum Vorscheine kommen.

Wir verlassen damit Italien; ehe wir uns aber der Aufgabe zuwenden, in rascher Übersicht auch die übrigen Eruptivgebiete der Erde zu überblicken, wollen wir, an die Euganeen anknüpfend, durch einzelne Beispiele die weitern Schicksale kennen lernen, welche ein ehemaliger Vulkan unter der Einwirkung der Erosion erleidet. Hier verdient vor allem ein Punkt genannt zu werden, der seit den Tagen Buchs klassische Berühmtheit in der Geologie erlangt und eine große Litteratur hervorgerufen hat. Bei Lavis in Südtirol mündet der Avisio in die Etsch; er kommt aus dem Herzen jener Region gewaltiger Dolomitberge, die zu den großartigsten Erscheinungen der Alpen gehören, und entströmt diesem Gebiete in einem langgestreckten Thale, das in seinem untern Teile Zembrathal, weiterhin Fleimser Thal, endlich in seinem Anfange Fassathal genannt wird. Im obern Fleims liegt Predazzo, dessen Umgebung uns die Reste eines uralten Vulkanes der Triasformation erkennen läßt. An den Bergen der Umgebung treten einerseits die Sedimentablagerungen der Trias, anderseits ältere Eruptivgesteine, Granit, Syenit (Monzonit), Orthoklasporphyr und Melaphyr, auf. Diese vier Felsarten sind durch ihre Lagerung, die Art und Weise, wie sie sich überdecken und in Gängen durchsetzen, als derselben Ausbruchsperiode angehörig, als annähernd gleichzeitig gekennzeichnet. Die Basis der Berge, des Mulatto und des Dosso Capello, besteht vorwiegend aus Syeniten und Graniten, über denselben liegen Kalke der Trias, welche an der Auflagerungsstelle auf dem Massengesteine in Marmor verwandelt sind und in dieser Kontaktzone eine Menge von Mineralbildungen, sehr verschiedenartige Silikate, enthalten, welche mit den Vorkommnissen in den Kalkblöcken des Monte Somma am Vesuv verglichen werden können. Die Schichten der Trias ruhen nicht nur auf den Graniten und Syeniten, sondern werden auch von Gängen von Syenit und Melaphyr durchsetzt; Melaphyrdecken, die zwischen den Triaskalken eingelagert sind oder sie bedecken, ergeben sich als Reste von Lavaströmen, und melaphyrische Tuffe ruhen zwischen den normalen Sedimenten der Trias.

Das Auftreten von Strömen und Tuffen zeigt, daß wir es hier mit den Resten eines uralten Vulkanes zu thun haben; allein der Krater und der ganze Aufschüttungskegel, dessen Reste am Monte Venda in den Euganeen noch erkennbar waren, sind vollständig verschwunden. Dafür sehen wir hier in offenbarer Verbindung mit dem Triasvulkane als

tiefstes Glied des ganzen Aufbaues Massen von Syenit und Granit, Gesteinen, welche ganz den Typus der alleraltesten Massengesteine tragen. Wir sehen also tiefer als die Gänge, als die Ströme, als der verschwundene Aschenkegel unter den durchbrochenen Triasablagerungen eine Region, in welcher die geschmolzenen Gesteine sich in großen Massen abgelagert haben und, ohne an die Oberfläche zu gelangen, in bedeutender Tiefe unter gewaltigem Drucke erstarrt sind und unter diesen Verhältnissen den Charakter von Gesteinen der Granitfamilie angenommen haben. Ein kleiner Theil dieser Region scheint nach den Beobachtungen von Reusch auch in den Euganeen bloßgelegt zu sein.

Nehmen wir an, ein ähnlich gebautes Gebirge sei noch weiter denudiert, die überlagernden Sedimente mit den Stromteilen, Gängen und Tuffen wären zerstört, dann wird nur noch eine Masse von alt aussehenden granitischen oder syenitischen Gesteinen übrigbleiben, die aller Wahrscheinlichkeit nach kuppenartig aus ihrer Umgebung hervorragen wird. Für ihre genaue Altersbestimmung werden in der Mehrzahl der Fälle die hinreichenden Anhaltspunkte fehlen. Denken wir, daß nicht ein einzelner Vulkan, sondern eine geradlinige Reihe von solchen bis zum vollständigen Verschwinden der oberflächlichen Teile zusammengewittert sei, so werden wir wahrscheinlich finden, daß die nun zum Vorscheine kommenden Regionen der Massenentwickelung zusammenhängen und eine gestreckte Zone granitischer Gesteine bilden. So sehen wir z. B. auf den Hebriden solche Massen, die auf miocäne Eruptionen zurückgeführt werden, in einer Linie angeordnet, aber noch durch beträchtliche Abstände voneinander getrennt, während im Banate zwischen Moldowa und Oravicza die dortigen sogenannten Banatite meist in langgestreckten Partien auftreten, die schon die Neigung erkennen lassen, zu einer Zone zu verschmelzen. Die Syenite von Brünn in Mähren endlich können als ein Fall gelten, in welchem die Erosion vollständig ihr Werk gethan hat; ähnliche Massen von granitoidem Typus bezeichnen, wie Sueß sich ausgedrückt hat, die Narben, welche die verschwundenen Vulkane an der Oberfläche der Erde zurückgelassen haben.

Das genaueste Studium der Verhältnisse, unter welchen in den verschiedenen Stadien der Erosion die Reste ehemaliger Vulkane auftreten, ist von Wichtigkeit, weil dadurch vor allem eine richtige Deutung jener großen Menge von ältern Massengesteinen ermöglicht wird, die über die ganze Erde verbreitet auftreten. Es tritt in jedem einzelnen Falle die Frage an den Geologen heran, ob er es in den vorliegenden Gesteinen mit den Resten von Strömen, mit mehr oder weniger horizontal ausgebreiteten Decken oder mit einem Gange oder einem Teile der in der Tiefe liegenden Massenentwickelung zu thun habe. Es kann ferner ein Vorkommen den Rest eines Lakkolithen oder eine lagerartige Einschiebung zwischen zwei schon vorhandenen Schichten darstellen. In vielen Fällen gehört es zu den sehr schwierigen Aufgaben, die richtige Auffassung einer alten Eruptivmasse zu finden, ihre Bildungsweise zu bestimmen.

Man hat allerdings andre Erklärungen für die geologisch alten Gebilde von Eruptivgesteinen versucht und hat angenommen, daß neben der gewöhnlichen Art von vulkanischen Ausbrüchen noch eine zweite existiere, denen die Mehrzahl der alten Vorkommnisse angehören soll, während sich für dieselbe in der Jetztzeit nur wenige Beispiele anführen lassen. Es war namentlich v. Seebach, welcher die Unterscheidung zwischen sogenannten Stratovulkanen oder Schichtvulkanen und massigen oder Domvulkanen betonte. Die große Mehrzahl aller jetzt thätigen Feuerberge baut Kegel mit mächtigen Kratern auf, die aus abwechselnd übereinander folgenden Lagen verschiedener loser Auswurfsprodukte und Laven bestehen, und in denen das erstere Material fast immer bedeutend überwiegt. Diese fast alle jetzt thätigen Herde umfassende Gruppe bezeichnet v. Seebach als Schichtvulkane, während die Domvulkane nur durch den Ausfluß zäher Lava ohne oder fast ohne Mitwirkung loser Auswürflinge aufgetürmt sind und keinen oder nur höchst unbedeutende Krater zeigen sollen.

NÖRDLICHES EISMEER

Grönland

Baffin Bai

Hudson Bai

NORD-AMERIKA

STILLER OZEAN

POLYNESIEN

Äquator

DER SÜD-SEE

SÜD-AMERIKA

Brasilien

ATLANTISCHER OZEAN

Alaska

Bering-Meer

Aleuten

Island

Azoren

Kanarische I.

Kap Verde I.

Sandwich I.

Galapagos I.

Falkland I.

Feuerland

S. Georgia

S. Shetland I.

Alexander I. Land

Tristan da Cunha

Verteilung der VULKANE auf der Erde.

Die vulkanischen Gebiete sind mit roter Farbe bezeichnet.



Institut in Leipzig

Unter den jetzt thätigen Bergen ist kein echter massiger oder Domvulkan bekannt geworden. Wohl gibt es einzelne, die verhältnismäßig sehr wenig lose Auswürflinge und sehr viel Lava geliefert haben, aber keins von den Beispielen, die man bisweilen anführt, zeigt mehr als dies; weder die Kaimenen bei Santorin im Griechischen Archipel noch Skaptarjökull auf Island, weder die Azoren noch Lanzarote unter den Kanaren haben einen Domvulkan aufgebaut. Trotzdem kann die Möglichkeit eines solchen Vorganges und die Existenz von solchen in der Vorzeit nicht geleugnet werden. Auch scheinen in den riesigen erloschenen Vulkangebieten im Westen von Nordamerika, zwischen der Sierra Nevada und den Rocky Mountains, die Verhältnisse so zu liegen, daß einfach gewaltige Massen geschmolzener Basalte oder Trachyte ohne bedeutende Explosionserscheinungen aus Spalten ausgeflossen sind, wie das wohl zuerst v. Richthofen angegeben hat. Allein solche Fälle bilden doch nur seltene Ausnahmen; die Auffassung, daß zwischen den vulkanischen Eruptionen früherer Perioden und jenen der Jetztzeit ein durchgreifender Unterschied existiere, läßt sich in keiner Weise wahrscheinlich oder annehmbar machen, und solange wir die große Mehrzahl der eruptiven Bildungen aus älterer Zeit in der oben angegebenen Weise durch die Erosion von Schichtvulkanen erklären können, scheint es unzulässig, einen Vorgang anzunehmen, der in der Jetztzeit so ziemlich ohne Analogie ist und der voraussetzt, daß die Eruptionen früher in der Regel ohne das Mitwirken eines Faktors stattfanden, den wir heute als ein Hauptagens derselben kennen, ohne die Mitwirkung von sich frei machenden Dämpfen, deren Spannung die Lava emportreibt.

Vulkaninseln im Atlantischen Ozeane.

Die beigegebene Karte ist bestimmt, die Verteilung der Vulkane auf der Erde darzustellen. Es wurde auf ihr soweit wie möglich das Prinzip verfolgt, nur solche Eruptivpunkte zu verzeichnen, welche entweder nachweisbar in nachtertiärer Zeit thätig waren, oder durch erhaltene Krater, Kegel oder durch mit letztern noch in Verbindung stehende Lavaströme ein sehr jugendliches Alter bezeugen. Eine bewußte Ausnahme davon wurde nur bezüglich der westlichen Staaten von Nordamerika gemacht, in denen ungeheure Eruptivgebiete teils tertiären, teils jüngern Alters vorhanden sind, ohne daß eine Scheidung heute möglich wäre. In Vulkangebieten mit zahlreichen reihenförmig angeordneten Feuerbergen wurde deren Lage durch einen zusammenhängenden Strich angedeutet.

Ein Blick auf die Karte zeigt uns sofort einige höchst merkwürdige Verhältnisse. In erster Linie sehen wir, daß fast alle thätigen Vulkane nahe an der Küste oder auf Inseln liegen; eine Ausnahme würde nur ein etwa 110—120 geogr. Meilen von der Küste entfernter Feuerberg im Territorium Idaho in den Vereinigten Staaten von Nordamerika bilden. Etwas entfernt vom Meere, aber doch nicht tief im Binnenlande sind der Ararat und ein Teil der mexikanischen und südamerikanischen Vulkane, welch letztere man aber in ihrer Gesamtheit immerhin noch als eine Küstenkette bezeichnen kann. Auch von den erloschenen Vulkanen sind die meisten entweder am Meere oder an großen, entweder noch jetzt oder früher, zur Zeit ihrer Thätigkeit, vorhandenen Binnenseen; doch ist hier die Zahl der Ausnahmen erheblich größer. Wenn wir ferner die Festlandsküsten näher ins Auge fassen, so sehen wir, daß sie nicht alle gleichmäßig Vulkane tragen, und daß solche in nennenswerter Zahl sich nur da finden, wo Gebirgsketten längs der Küste verlaufen und gegen diese steil abbrechen. Eine dritte wichtige Erscheinung, die zuerst von L. v. Buch in seinem klassischen Werke über die Kanarischen Inseln in richtiger Weise gewürdigt wurde, ist die reihenförmige Anordnung weitaus der meisten Vulkane. Ein Blick auf die Karte zeigt diese Reihen an den meisten Orten in vollster Klarheit, so daß es wohl überflüssig ist, sie

einzeln aufzuführen; sie geben uns die Richtung großer Spaltenzüge an, welche in die Tiefen niedergehen. Man hat in früherer Zeit neben den Reihenvulkanen noch Zentralvulkane unterschieden, bei welchen sich rings um einen Mittelpunkt ohne deutlich lineare Anordnung andre Ausbruchstellen gruppieren; doch ist es sehr wahrscheinlich, daß sich auch diese Vorkommnisse auf das Auftreten von Radialspalten werden zurückführen lassen.

Abgesehen von diesen sehr wichtigen Verhältnissen der Detailgruppierung, tritt in der Verteilung der Vulkane im großen und ganzen eine wichtige Thatsache hervor: es ist das die merkwürdige Gruppierung der großen Mehrzahl aller Vulkane um den Stillen Ozean. Vom Feuerlande an zieht sich, wenn auch mit Unterbrechungen, eine Riesenkette gewaltigster Vulkane, teils thätig, teils erloschen, an der Westküste des ganzen amerikanischen Kontinentes nach Norden, bis Alaska, wo dann jene eigentümliche Bildung geschwungener Vulkanreihen, meist auf Inseln gelegen, beginnt, welche man mit herabhängenden Blumengewinden verglichen hat. Vor die Beringsstraße, zwischen Amerika und Asien, legen sich die Alëuten mit ihren zahlreichen Vulkanen, dann folgen Kamtschatka, die Kurilen, Japan, die Liukiuinseln, Formosa, die Philippinen, endlich die Molukken. Diese schließen sich im Süden an die mächtige Vulkanreihe an, die vom Meerbusen von Bengalen über Sumatra, Java und die in Javas Verlängerung gelegenen Inseln gegen Neuguinea hinstreicht; von hier aus findet sich gegen Osten, zwischen dem 10. und 20. Grade südlicher Breite, eine größere Anzahl kleiner Vulkaninseln, die im Osten mit den Gesellschafts- und Markesasinseln endigen. Zwischen diesen und der Küste von Südamerika schließt die isolierte Osterinsel den riesigen Kranz, der den größten Teil des Stillen Ozeanes umfaßt und in seinem Zentrum die mächtige Vulkangruppe der Sandwichinseln enthält; ungefähr drei Viertel aller aktiven Vulkane gehören diesem Areale an.

Kein andres Gebiet der Erde zeigt ähnliche Verhältnisse; das atlantische Becken hat nur in den Kleinen Antillen eine ganz kurze Randkette, sonst finden sich einige Gruppen vulkanischer Inseln in demselben zerstreut, eine Vulkanlinie läuft vom afrikanischen Festlande aus ins Meer hinein, aber nichts läßt sich auch nur entfernt mit jenen oben geschilderten Verhältnissen vergleichen. Ähnlich verhält es sich mit dem Indischen Ozeane und mit dem Südlichen Eismeere.

Wir wollen die hauptsächlichsten Vulkandistrikte der Erde in kurzer Skizze darzustellen suchen; manche neue Verhältnisse werden uns dabei begegnen, vor allem aber werden wir finden, daß die italienischen Feuerberge uns nur ein verhältnismäßig schwaches Bild von der furchtbaren Intensität der vulkanischen Energie geben, wenn sie sich auch wegen ihrer leichten Zugänglichkeit und wegen der genauen Kenntnis, die wir von ihnen besitzen, für das erste Studium und als Beispiele in ausgezeichneter Weise eignen. Wir betrachten zuerst das atlantische Becken mit seinen Anhängen, dann dasjenige des Indischen Ozeanes, endlich den großen Vulkanring des Stillen Ozeanes; die sporadischen Feuerberge im Antarktischen Meere mögen den Schluß bilden.

Im hohen Norden des Atlantischen Meeres finden wir eins der gewaltigsten Zentren vulkanischer Thätigkeit in Island; die Basis der Insel bilden mächtige tertiäre Basaltdecken und Tuffe, denen Braunkohlenlager, sogenannte Surturbrandr, eingelagert sind. Auffallenderweise sind auch die Faröerinseln im Süden, etwa halbwegs zwischen Island und Schottland, ebenso zusammengesetzt, so daß man auf den Gedanken kommt, daß beide die Reste einer riesigen basaltischen Insel darstellen, welche in der Tertiärzeit sich dort ausdehnte; selbst die Basalte von Schottland und Irland könnten noch Ausläufer dieses Distriktes sein. Auf dieser basaltischen Platte erheben sich die neuen Vulkane Islands mit einer Intensität der Thätigkeit und einer Massenhaftigkeit der Lavaströme

und Auswürflinge, die sie mit den hervorragendsten vulkanischen Bezirken, mit Java, Kamtschatka, den Aléuten und Zentralamerika, in eine Linie stellen. Mächtige Gletscher, weite Strecken nackter Lava oder loser Asche machen den größten Teil des Landes zu einer furchtbaren Wüstenei, ausgedehnte Regionen hat noch nie eines Menschen Fuß betreten; aber um diese trostlose Öde herum breiten sich Flächen aus, die unter dem Einflusse der feuchten Wärme des die Insel bespülenden Golfstromes üppigen Wiesenwuchs erzeugen und dem zähen und genügsamen Geschlechte der Nordmänner die Existenz ermöglichen, wenn auch fast jede neue Eruption wieder Strecken des fruchtbaren Landes mit Asche oder



Der Beerenberg auf Jan Mayen (nach dem Werke der norwegischen Polarexpedition). Vgl. Text, S. 208.

Lava überdeckt und unwiederbringlich verwüstet. Die jungen Vulkane liegen auf einer breiten Zone, welche die Insel von Südwesten gegen Nordosten durchzieht und zwei parallele Hauptreihen unterscheiden läßt. Einige zwanzig Berge haben seit der Besiedelung der Insel im 9. Jahrhundert Ausbrüche gehabt, deren im ganzen in dieser Zeit wohl 100 bekannt geworden sind. Hekla, Katla und Kotluga sind namentlich durch die große Zahl ihrer Eruptionen ausgezeichnet; der furchtbare Lavastrom des Skaptarjökull von 1789, einer der größten Lavaergüsse, die in historischer Zeit eingetreten sind, wurde schon früher erwähnt.

Eine Eigentümlichkeit der isländischen Vulkane sind die Fluten von heißem Wasser, Eis, Steinen und Felsen, welche sich mit furchtbarer Plötzlichkeit von den Bergen herabstürzen, alles auf ihrem Wege zerstörend und begrabend. Der Ursprung derselben ist in der Schmelzung von Gletschereis zu suchen: der vulkanisch sehr stark erhitzte Boden schmelzt die tiefern Eislagen und bildet Ströme, welche die darüberliegenden Eismassen des Gletschers zertrümmern, fortreißen und auf ihrem weitern Wege Steine, Felsen, Schutt in chaotischem Gemenge fortwälzen und in die Tiefe befördern.

Als eine Fortsetzung der vulkanischen Kette, welche Island schräg durchsetzt, kann die noch höher im Norden gelegene Insel Jan Mayen betrachtet werden, deren höchster Gipfel, der 2094 m hohe Beerenberg, ein, wie es scheint, erloschener Vulkan ist, während an niedrigern Punkten sowie an dem ganz nahe gelegenen Egg-Island wirkliche Thätigkeit beobachtet wurde. Die beiden Abbildungen, auf S. 207 und die untenstehende, zeigen den Beerenberg nach den Aufnahmen der norwegischen Expedition sowie den Fugleberg, einen zerstörten erloschenen Krater, in dessen Becken das Meer eingedrungen ist.



Der Fugleberg auf Jan Mayen, eine Kraterruine (nach dem Werke der norwegischen Polarexpedition).

Von da an fehlt dem Atlantischen Ozeane jede Spur vulkanischer Thätigkeit auf ungeheure Strecken; die ganze Ostküste von Amerika, vom Polarkreise bis zum Feuerlande, hat sowenig einen Vulkan wie die Westküste von Europa oder von Afrika nördlich von der äquatorialen Region. Erst im innersten Winkel des Golfes von Guinea trägt der schwarze Weltteil in dem Camerungebirge eine Gruppe von Vulkanen, deren bedeutendster, 4128 m hoher Gipfel vor etwa 50 Jahren einen Ausbruch erlitt. Interessant ist die Thatsache, daß wir es hier mit dem äußersten das Festland berührenden Teile einer bedeutenden Vulkanlinie zu thun haben, die sich gegen Südwesten weithin in den Atlantischen Ozean fort erstreckt; die vulkanischen Inseln Fernando Po, Principe, San Thomé und Anabon bilden eine Linie, deren Verlängerung St. Helena mit seinem erloschenen Krater trifft. Diese merkwürdige Insel scheint ein wichtiges Zentrum darzustellen, in welchem mindestens zwei Vulkanlinien sich schneiden, also ein Zentrum, von dem aus radiale Spalten den Boden des Ozeanes durchziehen; die zweite Linie geht von St. Helena nach Nordwesten, nach der ähnlich wie St. Helena gebauten Insel Ascension, und trifft in ihrer

weitern Verlängerung jene oben erwähnte Region mitten im Atlantischen Ozeane, an welcher vorüberfahrende Schiffe häufig untermeerische Eruptionen gefühlt haben. Ob etwa auch das südlich von St. Helena im Südatlantischen Ozeane gelegene Tristan d'Acunha auf eine von ersterm ausgehende Spalte zu beziehen sei, läßt sich nicht bestimmen. Von der afrikanischen Westküste werden ungefähr unter 10° südlicher Breite noch zwei Vulkane, der Zambi, dicht an der Küste, und der Pembo, etwas weiter landeinwärts, citiert; doch darf man wohl an der Richtigkeit dieser Angaben noch zweifeln.

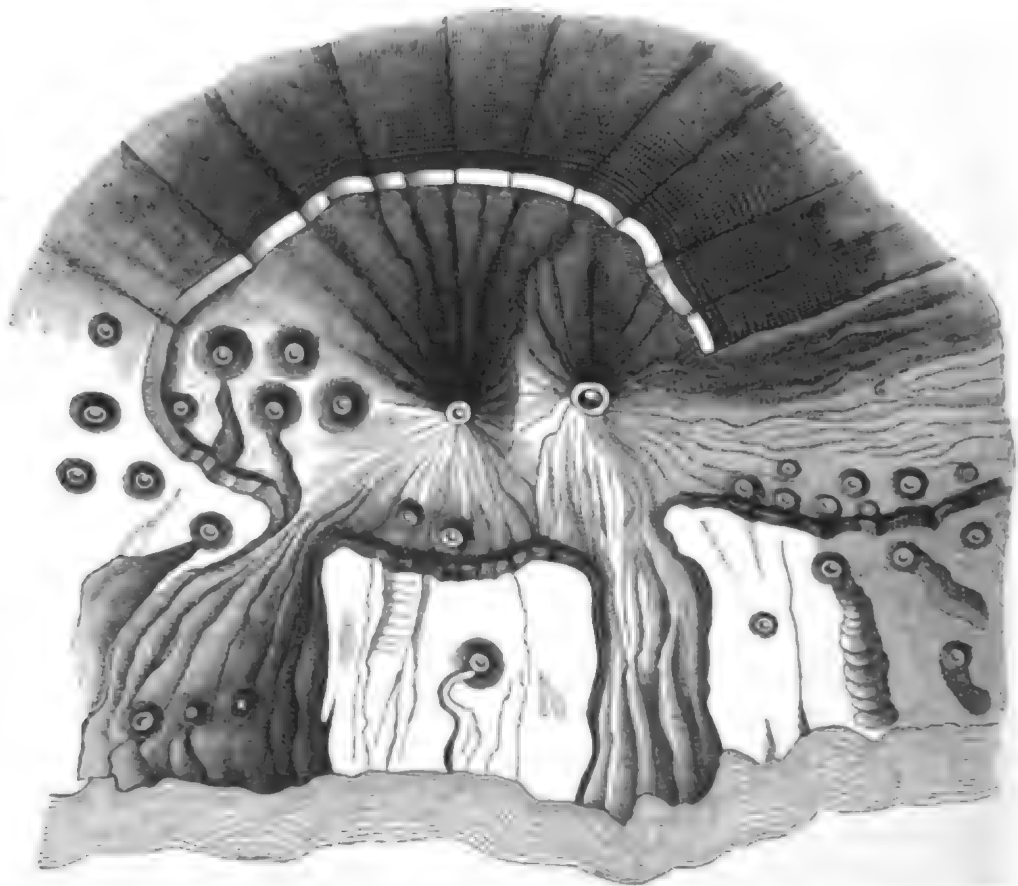
Von weit größerer Bedeutung sind die Inseln, die westlich von Afrika zwischen 14 und 40° nördlicher Breite liegen; es sind die weit in den Atlantischen Ozean vorgeschobenen Azoren, die Madeiragruppe, die Kanaren und die Kapverden. Unter diesen ist Madeira vollständig erloschen; Diabas scheint die Grundlage der Insel zu bilden, auf welcher die vulkanische Thätigkeit, nach dem Vorkommen in Tuffe eingeschlossener Miocänfossilien zu urteilen, weit in die Miocänzeit zurückreicht. Mehrere wohlerhaltene Krater und frisch aussehende Lavaströme bezeugen die Fortdauer von Ausbrüchen bis in eine junge Zeit, doch hat keiner derselben seit der Okkupation durch die Europäer stattgefunden.

Die Azoren enthalten auf den Inseln San Miguel, Terceira, Pico, Fayal und San Jorge thätige Krater, und außerdem ist die Gruppe namentlich durch das häufige Vorkommen submariner Ausbrüche in der Nähe von San Miguel und zwischen dieser Insel und Terceira bemerkenswert, von denen der letzte im Jahre 1867 stattgefunden hat. Häufig entstehen bei diesen Gelegenheiten neue Inselchen, die aber immer sehr rasch wieder verschwinden; am bekanntesten ist die Eruption, welche im Jahre 1811 die Insel Sabrina aufschüttete. Im ganzen Typus ihrer Entwickelung schließen sich die Azoren nahe an die Kanaren an, doch ist das Studium der Erscheinungen durch die sehr dichte Vegetation wesentlich erschwert.

Weitaus am besten sind die Kanaren bekannt, die seit den epochemachenden Untersuchungen von L. v. Buch geradezu ein klassisches Terrain für das Studium der Vulkane geworden sind. Die Gruppe besteht, abgesehen von einigen kleinern, aus sieben größern Inseln: Ferro, einer noch wenig studierten Basaltinsel, Palma, dem ebenfalls sehr wenig bekannten Gomera, Teneriffa, Gran Canaria, Fuerteventura und Lanzarote. In der Anordnung dieser Inseln kann man erkennen, daß die beiden zuletzt genannten eine ungefähr von Südwesten nach Nordosten gerichtete Reihe mit zahlreichen in dieser Direktion gestellten Kratern darstellen; ob auch Gran Canaria, Teneriffa und Ferro eine solche bilden, wie es nach der Lage auf der Karte plausibel erscheint, läßt sich nicht sicher behaupten. Seit der Besiedelung durch die Spanier haben Teneriffa, Palma und Lanzarote Ausbrüche gehabt.

Die Insel Teneriffa besteht aus einem einzigen gewaltigen Vulkane, dem 3706 m hohen Pik, zu dem sich das Land von allen Seiten emporhebt. Unter einem Winkel von 10 bis 14° steigen die Abhänge bis zu einer sehr bedeutenden Höhe, wo sie einen gewaltigen alten Krater, eine Somma, tragen, der nach der einen Richtung 2, nach der andern $1^{1}/_{3}$ geogr. Meile im Durchmesser hat. Wie die Abbildung auf S. 210 ergibt, ist der größte Teil des Ringwalles stehen geblieben, nur einige Breschen sind in denselben gelegt, durch welche Lavaströme in die Tiefe geflossen sind; auf der Außenseite dieses ältern Kegels sind vielfach parasitische Krater, ähnlich denjenigen des Ätna, aufgesetzt, aus welchen sich Lavaströme ergossen haben. Innerhalb dieses alten elliptischen Kraters erhebt sich der Pik, „ein Gebirge über einem Gebirge. Erst wenn man in die Zirkusumwallung eintritt, darf man sagen, daß man den Fuß des Piks und das, was ihn vor andern Bergen auszeichnet, wirklich betrete. Alles übrige, so hoch es auch sein mag, scheint nur eine äußere Bekleidung, welche zum Pik wesentlich nicht gehört. Die Bimssteinfelder am Abhange des Kegels werden so groß und so mächtig, daß der ganze Berg in der Ferne mit Schnee bedeckt zu sein scheint. Schwarze Obsidianströme ziehen sich wie Bänder vom Gipfel über diese Bimssteine herunter,

einige bis an den Boden des Zirkus, andre nur bis auf die Hälfte der Höhe, und dort bleiben sie hängen, andre bloß so weit, daß sie nur eben noch am Gipfel durch ihre Schwärze auf der weißen Fläche hervortreten. Man versinkt in die lockern Massen, kein Baum, kein Gras haftet darin." (L. v. Buch.) Der Gipfel trägt einen etwas über $^1/_2$ km im Durchmesser betragenden Krater, in den man sehr gut gelangen kann; außer dem eigentlichen Pik stehen, abgesehen von kleinern Bocche, noch zwei gewaltige Eruptionskegel innerhalb der Umwallung des großen Ringwalles, die Montaña Blanca und die Cahorra, von denen die letztere einen weitern Krater und gewaltigere Obsidianströme trägt als der Pik selbst (s. Abbildung, S. 27).



Modellansicht des Piks von Teneriffa. Vgl. Text, S. 209.

Ein ganz andres Bild bietet die Insel Palma, welche zwei wichtige technische Ausdrücke für die Vulkanologie geliefert hat, die Namen Caldera und Baranco, ähnlich wie die Bezeichnungen Somma und Solfatara der Gegend von Neapel entnommen sind. An dem Aufbaue von Palma sind nicht nur jungvulkanische Gesteine beteiligt, sondern als die Grundlage der Insel treten Massengesteine von vermutlich höherm Alter, Diabase, auf, über denen sich die jungvulkanischen Bildungen erheben. Die Insel hat eine keilförmige Gestalt, das breite Ende wird durch ein eigentümliches Kratergebirge, die Caldera, gebildet, das spitz auslaufende Ende durch einen langgestreckten, steilen Bergkamm, die Cumbre Vieja, welche zahlreiche Eruptionskegel trägt und durch einen niedern Rücken mit der Caldera zusammenhängt. Am Südende der Cumbre, am spitzen Winkel der Insel, steht der 728 m hohe Vulkan, aus dem die letzte Eruption auf Palma im Jahre 1669 sich ergoß.

Das Calderagebirge ist der Rest eines riesigen Kraterkegels; der Gipfel fehlt, und an seine Stelle ist ein gewaltiger, breiter und tiefer Kessel, die Caldera, eingesenkt. Der Bergrand, welcher diese Einsenkung umgibt, ebenfalls Cumbre genannt, erhebt sich auf der Nordseite zu einem 2511 m hohen Gipfel, auf der Südseite erreicht die Umwallung

2095 m und 2133 m Höhe, während der Grund der Caldera zu nicht 700 m über dem Meeresspiegel angegeben wird, so daß diese von 1200—1600 m hohen Wänden umgeben wird. In diesen riesigen Kessel führt nur eine enge, von tobenden Wildbächen durchbrauste Schlucht, der Baranco de las Angustias oder Gran Baranco. Die Umwallung der Caldera besteht aus normalem vulkanischen Materiale, der Rand und die Abhänge desselben tragen parasitische Krater, welche Laven in die tiefer gelegenen Teile der Insel und bis ins Meer gesandt haben. Ganz eigentümlich gestalten sich die Verhältnisse, wenn man durch den großen Baranco ins Innere der Caldera vordringt. Anfangs überschreitet man lauter jungvulkanische Produkte, aber indem man mehr ins Herz des Berges eindringt, kommen unter denselben Diabase, Hypersthenite und ähnliche Massengesteine von älterm Typus in einem furchtbar zerrütteten und zerrissenen Zustande zum Vorscheine; zahllose Gänge durchsetzen das Gestein, so daß unter der Menge derselben die durchbrochene Felsart oft fast verschwindet. Die Massen treten auch im Boden der Caldera selbst hervor, während die umgebenden Steilwände wieder jungvulkanisch sind. Das Innere der Caldera ist von tiefen Schluchten durchfurcht, die auch in die nach innen gerichteten Abstürze der Cumbre eingreifen.

Die Entstehung dieses gewaltigen, 1½ geogr. Meile im Durchmesser haltenden und 1600 m tiefen Kessels hat zu sehr vielen Diskussionen Anlaß gegeben. L. v. Buch hat die Caldera mit der umgebenden Cumbre als eins der ausgezeichnetsten Beispiele eines Erhebungskraters bezeichnet; die Verhältnisse desselben haben ihn sogar ganz wesentlich zur Aufstellung seiner Theorie veranlaßt, und es ist von großem Interesse, die Resultate zu hören, zu welchen er gelangt: „Der Blick von der Höhe der Caldera ist nicht weniger groß als der unten im Innern. Man übersieht die entsetzliche Tiefe in ihrem ganzen Umfange, Abgründe, wie sich wenige ihresgleichen auf der Erdfläche finden. Die Mitte der Caldera liegt 2257 Fuß hoch, wenig höher ist der Fuß der senkrechten Felsen; daher bilden sie bis auf die Höhe mehr als 4000 Fuß hohe senkrechte Abstürze. Wo fände man wohl so leicht ähnliche wieder? Oder auch dann, wo wären sie als riesenmäßige Kesselumgebung, in welcher gegenüberstehende Felsen stets lehren, was man unter den Füßen nicht sieht! Einzelne Rücken treten am Rande scharf aus der Umgebung hervor, und an ihnen läßt sich deutlich die Zusammensetzung des Ganzen übersehen; alles, soweit man heruntersieht, sind Schichten von festem Basalte mit mächtigern aus Tuff und Gerölle und Schlackenstücken dazwischen. Diese Schichten neigen sich oben am Rande sehr stark nach außen hin und immer weniger, je tiefer sie kommen, so daß sie auf der Nordseite nach Norden abfallen, südlich hin gegen Süden. Auch hier möchte man noch immer glauben, daß die große Menge von basaltischen Gängen, welche überall von der Höhe bis in die größte Tiefe fortsetzen, die Bänder bilden, wodurch Schichten von so zerfallenden Massen in dieser kühnen Lage aufrecht erhalten werden. Sie stehen größtenteils senkrecht oder neigen sich, nur wenig von der senkrechten Linie entfernt, nach verschiedenen Richtungen. Aber sie durchsetzen sich nicht so häufig wie unten im Baranco. Der äußere Abhang um die Caldera ist wie gedreht von oben bis zum Ufer des Meeres. Man sieht den Einschnitt der (kleinen) Barancos[1] nicht oder nur als wenig auffallende Spalten, und andre Erhebungen zeigen sich nirgends über der gleichmäßig abfallenden Fläche. Dieses ist eine sehr merkwürdige Erscheinung, und sie wird es noch mehr, wenn man die Barancos, welche in so unglaublicher Menge vom Gipfel sich gegen den Fuß hinabziehen, untersucht oder nur auf der Karte der Insel überblickt. Man kann ihnen ganz nahe stehen und sieht sie nicht, ahnt sie oft gar nicht eher als bis zum letzten Fußtritte am Rande. Dann steigt man an senkrechten Felswänden 400 oder 500 Fuß hinunter und

[1] Man muß unterscheiden zwischen dem großen Baranco, der in die Caldera führt, und den kleinen Barancos, tief eingeschnittenen Schluchten, welche auf der Außenseite der Cumbre nach abwärts führen.

ebensoviel in die Höhe. Oben, kaum eine Viertelstunde weit, erscheint ein neuer Baranco, gleich tief und senkrecht umgeben, dann wieder und immerfort, so daß kaum die Wohnungen auf der Fläche Raum finden. Wasser läuft in den Barancos gar nicht, außer in der Regenzeit im Winter, oder wenn der Schnee auf den Bergen schmilzt. Die Wege in mäßiger Höhe über dem Meere werden durch diese unaufhörlichen Unterbrechungen, durch das fortgesetzte mühsame und doch wenig weiter bringende Auf- und Absteigen so beschwerlich, daß die Bewohner es jederzeit bei weitem vorziehen, von Santa Cruz die ganze Höhe bis zur Caldera hinauf- und dann im weiten Bogen am Baranco (nämlich am Gran Baranco) herabzusteigen, als den viel kürzern Weg durch so viele tiefe Barancos zu verfolgen. Diese gehen alle vom Rande der Caldera wie von einem Mittelpunkte aus, aber auch nur so weit, als diese Caldera sich erstreckt. Sobald die Cumbre sie verläßt, abfällt und zur Südspitze der Insel zuläuft, werden die Barancos selten, und tief sind sie dann nur am Rande des Meeres.

„Kaum würden diese Erscheinungen schöner ineinander greifen können, um zu einer gemeinschaftlichen Ursache zu führen. Was ist die Caldera anders als die gewaltige Esse, der Erhebungskrater, durch welchen das entwichen ist, was die ganze Insel aus dem Grunde der See über die Oberfläche erhoben hat! Deswegen neigen sich die Schichten wie der äußere Abhang selbst, und oben stärker als unten, und die Oberfläche des neuerhobenen Kegels muß nun am Umfange in unzählige Spalten oder Barancos aufspringen, weil sie sich über einen viel größern Raum verbreitet als vorher auf dem Boden des Meeres. Vom Kegel entfernt sind solche Spalten nur selten, weil die Ursache des Aufbrechens fehlt. Hätte sich in der Mitte der Caldera ein Pik erheben können, so wäre ein Vulkan daraus entstanden, ein offener Kanal vom Innern bis zur Oberfläche hinauf. Im Erhebungskrater fällt aber die gewaltige erhobene Masse wieder zurück und zerstört die versuchte Verbindung."

Von diesen merkwürdigen Verhältnissen hat man die Bezeichnungen weiter übertragen; allgemein bezeichnet man gewaltige Kesselthäler im Innern eines abgestumpften Vulkankegels, die durch eine Schlucht nach außen kommunizieren, als Caldera; der Name der Barancos ist allgemein geworden für die eigentümlichen Schluchten an Vulkanen, welche von den Anhängern der Erhebungstheorie als Sprünge gedeutet werden, die bei der Emportreibung des Kraters entstanden sein sollen, und ganz speziell werden die Mündungsschluchten der Calderas als Barancos bezeichnet.

Die großartige Auffassung der Caldera durch L. v. Buch hat sich als unhaltbar erwiesen, aber trotzdem ist es von großem Interesse, seinem Gedankengange zu folgen. Die Untersuchungen von Reiß und Hartung haben inzwischen gezeigt, daß die ganze Bildung der Caldera und alle Nebenerscheinungen sich sehr einfach aus der Aufschüttungstheorie erklären, und daß für die Annahme einer Hebung kein irgend hinreichender Grund vorhanden ist. Es würde zu weit führen, die Einzelheiten der Deutung und Beweisführung hier darzustellen; wir können nur in den großen Hauptzügen den Vorgang verfolgen. Wie schon erwähnt, bilden den tiefinnersten Kern des Calderagebirges Massengesteine aus der Familie der sogenannten Grünsteine, Diabase, Hypersthenite ꝛc., und diese waren offenbar vor Beginn der Eruptionen vorhanden. Nach der Höhe, bis zu der sie im Grunde des Kessels ansteigen, müssen sie einen Bergrücken von etwa 1200 m Höhe gebildet haben, auf dessen gewölbter Oberfläche die jüngern Eruptionen stattfanden. Diese schütteten allmählich einen Lava- und Aschenkegel auf, der den Grünsteinberg ganz überdeckte und sich zu gewaltiger Höhe aufbaute; die Cumbre der Caldera ist 2511 m hoch, der Durchmesser des Kraters beträgt $1^1/_2$ geogr. Meile, und wir können daraus mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß der vollständige Kegel mindestens die Höhe des Piks von Teneriffa erreicht habe. Es muß nun eine Eruption, wie das ja öfters vorkommt, den ganzen obern Teil des Kegels bis zur Höhe der heutigen Cumbre herab in die Luft geblasen und, ähnlich

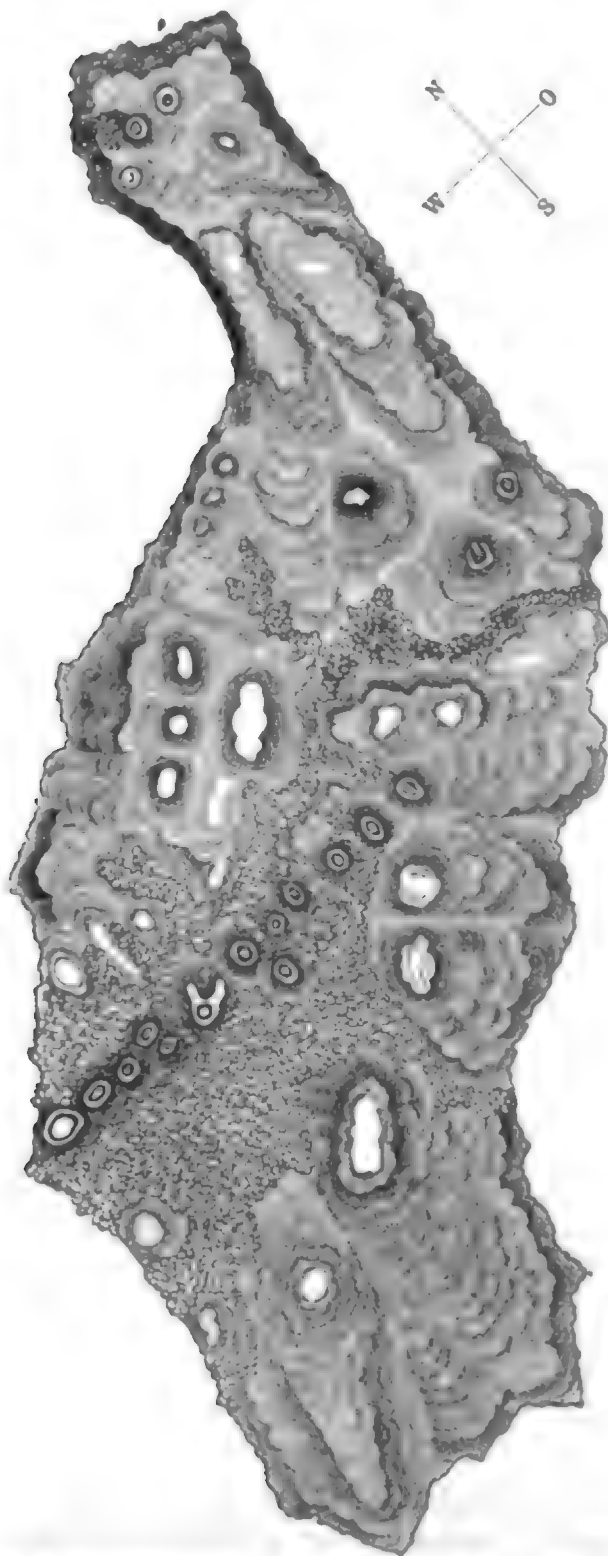
wie beim Ausbruche des Vesuv im Jahre 1872, eine Spalte den ganzen Berg von oben bis unten gespalten haben. Damit scheint die Eruptionsthätigkeit wenigstens innerhalb der Caldera aufgehört zu haben. Hätte dieselbe fortgedauert und zwar im alten Zentrum, so wäre ein Mittelkegel entstanden; hätte sich die Haupteruptionsstelle auf den Nordrand der Cumbre verlegt, wo jetzt einzelne parasitische Krater stehen, so hätte der Berg Form und Struktur des Ätna angenommen, statt Caldera und Baranco hätte sich ein Thal wie das Valle del Bove gebildet. So aber war nur die Erosion durch die ablaufenden Gewässer während der Winterregen und der Schneeschmelze thätig, diese durchfurchten den erloschenen Krater mit tief eingerissenen Schluchten, die Wassermassen benutzten den Spalt, der die Kraterwände bei dem letzten Paroxysmus zerrissen hatte, zum Abflusse und gestalteten ihn zum Gran Baranco. Auch die kleinen Barancos auf der Außenseite der Cumbre sind nur durch ablaufende Gewässer eingefurcht worden, sie sind nicht Risse, die bei der Erhebung im Berge entstanden, wie schon daraus hervorgeht, daß sie in ihrem obern Teile eng und unbedeutend sind und erst nach unten breit und tief werden.

Sehr viel Ähnlichkeit mit Palma hat die Insel Gran Canaria in ihrem Baue; sie hat ebenfalls eine Caldera, welche durch zwei Barancos nach außen kommuniziert.

Wie Palma und Gran Canaria Einem Bildungstypus angehören, so gilt dies auch für die beiden von Südwesten nach Nordosten gerichteten Inseln Fuerteventura und Lanzarote, von denen Lanzarote zuerst von L. v. Buch, beide später in sehr eingehender Weise von Hartung untersucht worden sind. Beide sind schon im äußern Relief weit verschieden von den übrigen Kanaren, da sie keine Berge von sehr bedeutender Höhe aufzuweisen haben; die höchsten Gipfel auf Fuerteventura erheben sich zu 796 m, auf Lanzarote zu 727 m über dem Meeresspiegel. Auch hier treten Diabase und Hypersthenite als ältestes Gestein auf, innig verknüpft mit Trachyten und Basalten. Die jüngern Eruptivgesteine sind basaltischer Natur, und unter ihnen kann man drei der Zeit nach aufeinander folgende Basaltformationen unterscheiden. Auf Lanzarote haben die ältesten dieser Basalte nur Schlackenanhäufungen gebildet, deutliche Krater und Lavaströme fehlen. Eine zweite Periode lieferte Kegel mit Kratern und Strömen, die jüngste endlich umfaßt die Produkte der kolossalen Eruptionen von 1730 bis 1736, welche aus einer langen Reihe geradlinig angeordneter Krater hervorgegangen sind. Fast ein Drittel der Insel wurde in dieser Zeit mit Lavaströmen bedeckt, und der bedeutendste Feuerberg aus jener Zeit, die 533 m hohe Montaña de Fuego, ist auch jetzt noch in gemäßigter Thätigkeit. Diese Reihe jüngster Ausbruchstellen ist darum sehr auffallend, weil sie eine ganz andre Richtung einhält als die Streichungsrichtung der ältern Gesteine; die Haupterstreckung der Insel, die Bergzüge und die sämtlichen ältern Auswurfsöffnungen sind ungefähr von Südwesten nach Nordosten gerichtet, die Schlünde des vorigen Jahrhunderts dagegen stehen genau ostwestlich, also parallel einer Linie, welche man sich durch Ferro, Gomera, Gran Canaria und Teneriffa gezogen denken kann. Auf der ostwestlichen Linie oder Spalte haben sich im Laufe von sechs Jahren nicht weniger als 30 aus aufgeschütteten Lapilli bestehende Kegel, meist von 200—400 Fuß Höhe, gebildet (s. Abbildung, S. 214).

Dieser Ausbruch ist dadurch ausgezeichnet, daß er ungeheure Massen von Laven und verhältnismäßig wenig lose Auswurfsprodukte und, wie es scheint, wenig Wasserdampf hervorgebracht hat. Wohl sind die Kegel aus Steinchen und Schlacken aufgebaut, und Auswürfe großer Mengen solcher werden bisweilen erwähnt; aber weitverbreiteter Aschenregen, die gewaltigen Massen von Auswürflingen, welche sonst die Lavamenge stark zu übertreffen pflegen, fehlen, während die Lava bedeutend vorwiegt und eine Fläche von fast 3 geogr. □Meilen bedeckt hat. Der gleichzeitige Bericht spricht ziemlich wenig von riesigen Dampfsäulen, Aschenwolken, welche die Luft verfinstern und den Tag zur Nacht machen; keine

Erdbeben werden erwähnt, und die Lava scheint gerade bei den massenhaftesten Ergüssen sehr ruhig hervorgequollen zu sein. L. v. Buch berichtet über den Ausbruch, der 85 Jahre vor seiner Anwesenheit auf den Kanaren begann, nach den Aufzeichnungen von Don Andrea Lorenzo Curbeta, der in Yaisa, einer nahe der Ausbruchstelle gelegenen Ortschaft, Pfarrer war.



Die Insel Lanzarote mit der von Westen nach Osten streichenden Reihe der Ausbruchskegel von 1730 bis 1737 und ihren Lavaströmen (nach L. v. Buch). Vgl. Text, S. 213.

„Am 1. September 1730 brach zwischen 9 und 10 Uhr in der Nacht, zwei Stunden von Yaisa, bei Chuimansaya, plötzlich die Erde auf. Schon in der ersten Nacht hatte sich ein beträchtlich hoher Berg gebildet; Flammen (?) brachen hervor und brannten 19 Tage unaufhörlich fort. Wenige Tage später öffnete sich ein neuer Schlund, wahrscheinlich am Fuße des neugebildeten Eruptionskegels, und eine wütende Lava stürzte sich hervor auf Chimansaya, auf Rodea und auf einen Teil der Mancha Blanca. Dieser erste Ausbruch war also östlich von der Montaña de Fuego, etwa auf halbem Wege von diesem Berge gegen Subaco hin. Die Lava lief über die Dörfer hin gegen Norden, anfangs schnell wie Wasser, dann schwer und langsam wie Honig. Aber am 17. September erhob sich mit gewaltigem Donner und Lärm ein ungeheurer Fels aus der Tiefe und zwang den Lavastrom, statt nach Norden, nun den Weg nach Nordwesten und Nordnordwesten hin zu ändern. Die Lava erreichte jetzt und zerstörte mit großer Schnelle die Dörfer Macetas und Santa Catalina im Thale. . . .

„Am 11. September erneuerte sich die Wut der fließenden Lava; von Santa Catalina fiel sie auf Maco, verbrannte und bedeckte gänzlich das Dorf und stürzte sich nun als ein feuriger Katarakt mit gräßlichem Lärme acht Tage lang fort in das Meer. Die Fische schwammen in unbeschreiblicher Menge tot auf der Oberfläche des Wassers oder wurden sterbend ans Ufer geworfen. Dann beruhigte sich alles. Offenbar war die Lava damals trotz ihrer ungeheuern Masse über so viele Dörfer hin und bis zum Meere doch nur aus Einer Öffnung gekommen. Allein am 18. Oktober brachen drei neue Öffnungen unmittelbar über dem verbrannten Santa Catalina auf und stießen dicke Rauchwolken aus, welche sich über die

ganze Insel verbreiteten. Mit ihnen ward eine ungeheure Menge von Rapilli, Sand und Asche umhergestreut, und überall fielen dicke Wassertropfen nieder wie von Regen. Das Donnern und Schlagen dieser Ausbrüche, die Finsternis, in welche Asche und Rauch sie einhüllten, vertrieb die erschrockenen Bewohner von Yaisa und der Gegend umher mehr als einmal; aber sie kehrten zurück, da keine weitere Zerstörung die Explosion zu begleiten schien. Am 28. Oktober, nachdem die Erscheinung zehn Tage lang auf die gleiche Weise sich gezeigt hatte, fiel das Vieh in der ganzen Gegend leblos zu Boden, von dem stinkenden Dunste erstickt, der wie Tropfen herabfiel. Am 30. Oktober beruhigte sich alles. Kein Lavastrom scheint diesen Ausbruch begleitet zu haben.

„Aber nur zwei Tage darauf, am 1. November, brachen wieder Rauch und Asche hervor und nun unaufhörlich fort bis zum 20. Auch erschien Lava wieder, aber ohne viel Schaden zu thun, weil schon alles in der Nähe verwüstet, verbrannt und bedeckt war. Am 27. wälzte sich ein Strom mit unglaublicher Geschwindigkeit herab, erreichte am 1. Dezember das Meer und bildete eine Insel im Meere, an welcher die Fische wie an einer Bank tot umherlagen. Am 16. Dezember veränderte die Lava den Lauf, den sie bisher alle Tage zum Meere herab genommen hatte. Sie wendete sich mehr südwestlich, erreichte Chupadero und verbrannte am 17. den ganzen Ort. Dann verwüstete sie die fruchtbare Vega de Ugo, verbreitete sich aber nicht weiter. Am 7. Januar zerstörten neue Ausbrüche alle vorigen wieder. Aus zwei Öffnungen stürzten feurige Lavaströme hervor, und dichter Rauch folgte ihnen nach. Durch den Rauch fuhren in großer Menge rote und blaue glänzende Blitze mit gleichem Donner wie bei Gewittern, welcher für die Umwohner ebenso neu wie erschreckend war, weil sie auf ihrer Insel Gewitter nicht kennen. Am 10. Januar war ein hoher Berg aufgeworfen, der an demselben Tage mit unglaublichem Gepolter in seinen eignen Krater wieder zusammenstürzte und mit Steinen und Asche die ganze Insel bedeckte. Feurige Bäche von Lava stürzten sich über das Malpays (wüstes Lavafeld) weg bis in das Meer. Am 27. Januar hörte die Eruption auf. Die Berge, welche sie gebildet hat, stehen wahrscheinlich noch; mehrere nebeneinander mit großen Kratern, auf einer Seite fast bis zum Boden geöffnet, etwa die siebente Gruppe vom Meere her. Wenigstens hat man mir versichert, daß unter diesen 400 Fuß hohen Kegeln das einst große und blühende Santa Catalina gelegen habe.

„Am 3. Februar erhob sich ein neuer Kegel, Rodeo ward verbrannt, und in der Gegend des Dorfes erreichte die Lava das Meer; sie lief bis zum 28. Februar unaufhörlich fort. Am 7. März stiegen andre Kegel auf und warfen Lava ins Meer im Norden von Tingafa, das zerstört ward. Die Kegel erheben sich daher fast regelmäßig von Osten gegen Westen hin, als würde die Spalte im Innern durch die Ausbrüche immer noch mehr geöffnet und würden diesen dadurch nach Westen zu leichtere Auswege verschafft."

In dieser Weise dauerten die Ausbrüche fort, die Kegel rückten immer weiter nach Westen vor, doch fanden auch dazwischen wieder Eruptionen auf östlichern Teilen der Spalte statt, die schon früher in Thätigkeit gewesen waren. Als Ende Dezember 1731 die Lava dem Orte Yaisa sehr nahe rückte, verloren die Leute alle Hoffnung, daß die Insel je wieder zur Ruhe kommen werde; sie verließen Lanzarote und flüchteten nach Gran Canaria. Die Bewegungen dauerten auch noch ohne wesentliche Unterbrechung Jahre hindurch fort, und erst am 26. April 1736 hörten sie vollständig auf; seitdem war die Insel ruhig bis auf eine ganz unbedeutende Eruption im Jahre 1824.

Die Kapverden, welche weiter südlich als die Kanaren, nahe der Mündung des Senegal in den Atlantischen Ozean, liegen, hat Darwin zuerst untersucht und neuerdings Dölter eingehenden Untersuchungen unterworfen. Als der wichtigste Punkt des geologischen Baues ist zu bezeichnen, daß die Inseln nicht ganz aus vulkanischen Produkten bestehen, sondern daß außer diesen auch Gneiße und andre kristallinische Schiefergesteine, ältere

Kalke, ferner Diorite, Syenite und Diabase auftreten, welche die Vermutung zulassen, daß man es in den Kapverden mit Trümmern oder Ruinen eines verschwundenen Festlandes zu thun habe. Einige der Inseln tragen sehr bedeutende Vulkankegel, während andre nie sehr namhafte Eruptivthätigkeit entwickelt zu haben scheinen. Die einzige Insel Fogo unter den Kapverden hat einen noch jetzt thätigen Krater, alle andern sind erloschen.

Endlich wird noch berichtet, daß die Loß-Inseln an der Küste von Sierra Leone vulkanisch seien, und etwas weiter südlich soll unter 7° nördlicher Breite und etwa 4° östlicher Länge von Ferro im Jahre 1824 eine submarine Eruption stattgefunden haben.

Auf der Westseite des Atlantischen Ozeanes ist nur sehr wenig von vulkanischen Erscheinungen zu erwähnen. Daß das Festland von Amerika auf dieser Seite keine Spur davon zeigt, wurde schon gesagt; abgesehen von der Insel Fernando Noronha, welche unter 3° 50′ südlicher Breite etwa 45 geogr. Meilen von Kap Roque in Brasilien liegt, sind nur die westindischen Inseln zu nennen. Im Jahre 1837 wurde am 24. November eine submarine Eruption auf der Bahamabank beobachtet, insbesondere aber sind die Kleinen Antillen als eruptiv bemerkenswert, jene im Bogen geschwungene Reihe kleiner Inseln, die zwischen dem Festlande von Venezuela in Südamerika und Portorico gelegen sind. Von den Inseln Granada, St. Vincent, Ste. Lucie, Martinique, Dominica, Guadeloupe, Montserrat, Nevis, St. Christoph und St. Eustache ist festgestellt, daß sie jungvulkanischen Ursprunges sind, und von St. Vincent, Ste. Lucie, Martinique, Guadeloupe und St. Christoph sind Ausbrüche aus den letzten Jahrhunderten überliefert. Am bekanntesten ist wohl die Soufrière auf Guadeloupe, einer der wenigen Vulkane, von dem angegeben wird, daß er Laven mit ausgeschiedenen Quarzkörnern ausgestoßen habe.

Europäische (außeritalienische) Vulkane.

Dies ist alles, was wir von Vulkanen aus dem Gebiete des Atlantischen Ozeanes wissen. Wir wenden uns nun Europa zu und zwar zunächst dem Körper des Erdteiles ohne seine Inseln und Halbinseln. Hier treten wir zuerst den erloschenen Feuerbergen in Mittel- und Südfrankreich näher; ganz im Süden an der Küste des Mittelländischen Meeres ist bei Agde im Departement Hérault ein nicht sehr bedeutender Eruptionspunkt, und einige weitere finden sich bei Montpellier. Von viel größerer Bedeutung ist jedoch das Zentralplateau von Frankreich mit der großen Menge seiner kratertragenden Kegelberge, die in der Geschichte der Geologie eine so wichtige Rolle gespielt haben, da ihr Studium vor allem die Entscheidung des alten und mit unerhörter Erbitterung geführten Streites über die Entstehung des Basaltes herbeigeführt hat. Das Zentralplateau von Frankreich ist ein gegen 1000 m über das Meer sich erhebendes Hochland, das aus ältesten kristallinischen Gesteinen, vorwiegend aus Granit, zusammengesetzt ist. Tertiäre Süßwasserablagerungen sind stellenweise auf ihm ausgebreitet, und außerdem erheben sich über demselben jüngere Ausbruchsgesteine, welche ihrem Auftreten, teilweise auch ihrem Alter nach in zwei verschiedene Kategorien zerfallen. Einerseits bestehen einige große Eruptivzentren, deren jedes bedeutenden Raum einnimmt und ein Bergsystem für sich bildet; es sind ältere, der Tertiärformation angehörige große Vulkane, die aber durch Erosion ihre Krater und die äußerlichern Merkmale ihres Ursprunges verloren haben. Anderseits treten an außerordentlich zahlreichen Punkten kleinere Ausbruchstellen auf, welche isolierte Kegel bilden mit großenteils erhaltenen Kratern und Aufschüttungen loser Materialien. Diese Kegel, von denen die meisten, ähnlich den Vorkommnissen der Phlegräischen Felder bei Neapel, nur

eine einzige Eruption gehabt haben, sind der großen Mehrzahl nach jünger; einzelne, an denen die Krater verschwunden sind, mögen gleichzeitig mit jenen großen Zentren thätig gewesen sein und in die Tertiärzeit zurückgreifen; aber weitaus die meisten sind nachtertiär, und wir haben die sichersten Beweise, daß der Mensch Zeuge ihrer Ausbrüche gewesen sei, da in einer vulkanischen Breccie und noch bedeckt von einer Lage jüngerer Schlacken am Mont Denise im Vivarais Menschenknochen zusammen mit Resten von Elefanten, Rhinozerossen und Hyänen gefunden worden sind. Nach einem allerdings sehr zweifelhaften Berichte hätte sich in der Gegend von Vienne noch im Mittelalter eine Eruption ereignet.



Vulkane der Auvergne, vom Puy Chopine aus gesehen.

Die wichtigsten Vulkane des mittlern Frankreich sind diejenigen der Auvergne (s. nebenstehende Abbildung). Wir finden hier drei der erwähnten sehr großen Vulkanruinen aus der Tertiärzeit: im Norden das höchste dieser Gebirge, den 1890 m hohen Mont Dore, aus Trachyten und Basalten bestehend; südlich davon den Cantal, nicht ganz so hoch (1861 m), aber von viel bedeutenderm Umfange; endlich noch weiter im Süden die dritte und kleinste Masse, den Canton d'Aubrac. Diese Reste tertiärer Eruptionen sind hier für uns nicht von Bedeutung, da wir nur die der jüngsten Ausbrüche verfolgen, und in diese Kategorie gehört eine Reihe kleinerer Kegelberge, dort als „Puy“ bezeichnet, die sich nordöstlich vom Mont Dore zu einer nordsüdlich verlaufenden Doppelreihe anordnen, in welcher etwa 40 gut charakterisierte, teils basaltische, teils trachytische Krater stehen, von denen manche sehr bedeutende Lavaströme geliefert haben. Außerdem treten auch Kuppen auf, welche keine Krater mehr führen. Dieselben sind offenbar die ältesten, vermutlich in die Tertiärperiode zurückreichenden Ausbruchstellen des Gebietes, welche die aus losen Auswürflingen gebildeten leichter zerstörbaren Teile im Laufe der Zeit durch Erosion verloren haben; Puy de Dôme ist der bedeutendste Vertreter dieser Kategorie. Manche der Krater sind am Fuße aufgebrochen und haben aus dieser Lücke Lavaströme ergossen; andre sind jetzt mit Wasser angefüllt und umschließen prachtvolle Kraterseen.

Wenn wir die Menge dieser geradlinig angeordneten Kegel betrachten, die meist nur je einen Ausbruch gehabt haben, so erinnert deren Auftreten ganz entschieden an den S. 213 geschilderten Ausbruch der Insel Lanzarote aus dem Jahre 1730. Auf einer Spalte rückte allmählich die eruptive Thätigkeit vor, sprang häufig wieder zurück, ging dann wieder vorwärts, und in ähnlicher Weise müssen wir uns diese Vulkanreihe der Auvergne entstanden denken, nur daß hier die Vorgänge weit energischer waren, sich über eine längere Linie verteilten und während eines unberechenbar längern Zeitraumes andauerten.

Die vulkanische Thätigkeit fand in der Auvergne, im Gegensatze zu allen bisher betrachteten und überhaupt zur bedeutenden Mehrzahl aller Fälle, in ziemlich beträchtlicher Entfernung vom Meere statt; es werden die Süßwasserbecken, welche sich während der jüngern Tertiärzeit hier befanden, als ein Ersatz dafür betrachtet. Für die tertiären Vorkommnisse mag diese Auffassung auch Berechtigung haben, dagegen ist es sehr unwahrscheinlich, daß diese Wasserbecken auch während der spätern Eruptionen noch vorhanden waren. Übrigens müssen wir berücksichtigen, daß die Entfernung vom Meere immerhin nicht größer ist als beim Popocatepetl und kleiner als beim Vulkane von Tolima in Amerika.

Östlich von dem klassischen Gebiete der Auvergne liegt noch eine tertiäre Vulkanruine, der Mezène, und die jungen Krater der Landschaften Velay und Vivarais, die über 100 Auswurfsöffnungen aufzuweisen haben.

Weit bescheidener als in Frankreich treten in Deutschland Spuren einer jungen Ausbruchsthätigkeit auf. Tertiäre Eruptivgesteine sind sehr verbreitet, namentlich in einer breiten Zone, die sich vom Rhein über den Westerwald, Vogelsberg und Rhön und weiterhin bis gegen Koburg erstreckt. In der Fortsetzung dieser Zone liegen die mächtigen Basalte, welche in Böhmen den Fuß des Riesengebirges begleiten und sich von da nach Schlesien fortsetzen; aber die Ausläufer, welche noch in nachtertiärer Zeit in Thätigkeit waren, sind nicht sehr erheblich. Weitaus die größte Bedeutung haben diejenigen Vorkommnisse, welche in der westlichen Fortsetzung des genannten Zuges jenseit des Rheins in der Eifel auftreten. Es sind zwar zum großen Teile nur die ersten Anfänge, man könnte sagen schwache Versuche der Vulkanbildung; aber gerade darauf beruht das Interesse derselben, indem sie uns an einfachsten Fällen Vorgänge zu studieren erlauben, deren kleiner Maßstab alle Verhältnisse viel leichter überblicken läßt als da, wo gewaltige Massen, Heftigkeit und Komplikation der Ereignisse nur zu leicht verwirren.

Die Eifelvulkane stehen auf dem weiten Gebiete uralter, der Devonformation angehöriger Sedimentbildungen, welche in jenem Teile der Rheinlande eine außerordentliche Verbreitung besitzen. In räumlicher Beziehung treten die hierher gehörigen Eruptivpunkte in zwei Gruppen auseinander: die Eifelvulkane im engern Sinne und jene des Laacher Sees. Die ältesten Eruptionen gehen in die Miocänzeit zurück, die Hauptmasse derselben ist aber weit jünger, sie sind großenteils später gebildet als die Thalläufe, und manche Produkte liegen auf diluvialem Löß, ja auf noch jüngerm Schotter auf. Eine größere Anzahl schöner Vulkankegel mit ausgezeichneten Kratern, zum Teile auch mit Lavaströmen, sind erhalten, so der Mosenberg bei Brettenfeld, der Firmerich bei Daun, der Vulkan von Gerolstein, der Bellerberg, Herchenberg, der Roderberg bei Rolandseck und viele andre. Aber nicht in ihnen liegt das Hauptinteresse der Eifel, dieses ist vielmehr durch eine eigentümliche Bildung, durch die sogenannten Maare, gegeben, welche in keinem andern Gebiete der Welt so deutlich hervortreten. Wir lernen hier die allereinfachste Form einer Eruptionsöffnung kennen, kraterähnliche Kessel, welche unmittelbar in die alten Sedimentschichten, meist in die Thonschiefer der Devonschichten, eingesenkt sind. Die Wände des Kessels bestehen stets aus dem festen, anstehenden Gesteine, manche haben um die Öffnung herum einen niedrigen Kranz von Schlacken, bei andern sind nur Fragmente

des durchbrochenen Schiefers oder Sandsteines angehäuft, andern fehlt jede derartige Umgebung. Die meisten von ihnen haben sich mit Wasser gefüllt und bilden jetzt Seen. Das größte Maar ist der Laacher See, von dem übrigens nach der Ansicht mancher Geologen der Lavastrom von Niedermendig ausgegangen sein soll. Er hat einen Flächenraum von 1/6 QMeile und ist großenteils von Devonbildungen und darauf liegenden Braunkohlenschichten, teilweise aber auch von Schlacken und Tuff umgeben, die dem Löß aufliegen. Andre Maare haben kleinere Dimensionen; zu den bedeutendsten gehören das Pulvermaar, das Gillenfelder und Weinfelder Maar, die Maare von Ülmen, Daun, Moorbruck, Meerfelden 2c. bis herab zur „Hütsche", die nur wenige Fuß im Durchmesser hat. Die Entstehung der Maare wird in der Regel und wohl mit Recht vulkanischen Eruptionen zugeschrieben, bei welchen keine Lava austrat und Gasexplosionen die fast ausschließliche Bethätigung bildeten; es sind Explosionskrater, welche eine sehr geringe Menge von losen Auswürflingen ausgeschleudert haben, so daß sich nicht nur kein namhafter Kegel aufbauen konnte, sondern daß auch vielfach die wenigen aufgeschütteten Produkte wieder spurlos verschwanden.

In größerer Menge haben die Eifelvulkane Bimsstein ausgeworfen, der sich über sehr weite Strecken verbreitete. Ein sehr eigentümliches Produkt bildet der sogenannte Traß, eine Tuffbildung, die in der Umgebung des Laacher Sees, namentlich im Brohlthale, im Gebiete der Nette 2c., mächtige Ablagerungen bildet und als treffliches Material zur Zementfabrikation verwendet wird; es ist ein dem Bimssteintuffe verwandtes Gestein, eine gelbe oder graue, erdige Masse, die viele Bimssteinstücke, oft auch Fragmente von Thonschiefer, Basalt oder auch Kristalle von Sanidin, Hornblende, Augit 2c. einschließt. Wir haben es hier aller Wahrscheinlichkeit nach mit alten Schlammströmen zu thun, welche die Thäler ausfüllten und nun von den Flüssen ihrerseits wieder durchschnitten werden.

Wie das westliche Ende der mitteldeutschen, so ist auch das Westende der nordböhmischen Basaltentwickelung durch jüngere Ausbruchsthätigkeit ausgezeichnet, wie sie schon Goethe am Kammerbühl bei Eger erkannt hat. Auf Glimmerschiefer ist dort ein Schlackenkegel aufgehäuft, und viele basaltische Bomben zeugen von explosiver Thätigkeit. In Österreichisch-Schlesien treten drei Vulkankegel auf, der Rautenberg, der Köhlerberg und der Vulkan von Messendorf, und Mähren hat bei Orgiof an der Grenze gegen Ungarn einen flachen Schlackenkegel mit wohlerhaltenem Krater. In Ungarn finden sich am Südrande der Karpaten ungeheure Massen tertiärer Trachyte, doch ist kein Anzeichen nachtertiärer Thätigkeit vorhanden. Aus Siebenbürgen dagegen sind einige trachytische Krater, teilweise noch mit schwacher Solfatarenthätigkeit, bekannt.

Bedeutend reicher als der Rumpf von Europa sind die Inseln und Halbinseln des Mittelmeeres an erloschenen Vulkanen. In Spanien hat die Umgebung der Stadt Olot in Katalonien etwa 14 erloschene Krater; im südöstlichen Spanien, zwischen Kap San Martin bei Cartagena bis Cabo de Gata bei Almeria, stehen längs der Küste mehrere erloschene Kegel mit teilweise gut erhaltenen Kratern; endlich bestehen die Columbrete-Inseln bei Valencia aus erloschenen Kratern mit durchbrochenen Ringwällen. Weiter im Osten folgt die Insel Sardinien, die namentlich im Monte Ferru einen gewaltigen erloschenen Vulkan trägt; dann schließen sich die Vulkane der italienischen Halbinsel und der unmittelbar benachbarten Inseln an, deren Natur wir schon eingehend besprochen haben (s. S. 189 ff).

Das Gebiet des Jonischen und Adriatischen Meeres besitzt keine neuern Vulkane, und auch die Balkanhalbinsel hat trotz ihrer bedeutenden Entwickelung tertiärer Eruptivmassen nur eine einzige Ausbruchstelle aufzuweisen, die in historischer Zeit thätig war, nämlich Methana an der nordöstlichen Küste des Peloponnes am Ägeischen Meere. Um so reichlicher finden wir solche in diesem letztern Becken, das seiner ganzen Breite nach von einer

Reihe von Vulkanen durchzogen ist. Tertiäre Eruptivmassen trachytischer Natur beginnen schon am Bosporus; sie nehmen einen Teil der Ufer der Dardanellen ein und finden sich in ungeheurer Entwickelung auf den Inseln und an der kleinasiatischen Küste im nördlichen Teile des Ägeischen Meeres. Hier treten an verschiedenen Punkten, auf Tenedos, Lemnos, Imbros, in der Umgebung von Smyrna bis gegen Tschesme, die Trachyteruptionen überall in Verbindung mit jungtertiären, der Miocänzeit angehörigen Süßwasserkalken auf; Spuren jüngerer Eruptionen sind weder von andern noch von mir selbst in dieser Region beobachtet worden.

Anders verhält es sich im südlichen Teile des Ägeischen Meeres; die Cykladischen Inseln, welche in breiter Doppelreihe als die Häupter eines untermeerischen Gebirges von Attika und Euböa gegen Kleinasien hinüberziehen, scheiden das südliche Becken vom Nordägeischen Meere und bezeichnen eine bedeutsame Grenzscheide in der Entwickelung der Eruptivgesteine. Die miocänen Süßwasserkalke des Nordens treten auch hier wieder auf, aber, soweit meine Erfahrung reicht, ohne gleichzeitige Trachyte; hier sind alle Ausbrüche jünger und reichen bis in die Jetztwelt herein. Wie später eingehend gezeigt werden soll, existierte zur Miocänzeit das Ägeische Meer noch nicht; an seiner Stelle war festes Land mit zahlreichen Süßwasserseen. Das südägeische Becken zwischen den Cykladen im Norden, Kreta im Süden, Kleinasien im Osten und Griechenland im Westen bildete sich der Hauptsache nach erst während der letzten Phasen der Tertiärzeit, indem das Land an in die Tiefe gehenden Spalten absank und das Wasser dieses Senkungsfeld okkupierte. Dieses Ereignis trat also so spät ein, daß man sogar im Zweifel sein kann, ob nicht der Mensch schon Zeuge seiner spätern Stadien gewesen sei. Die jüngern Eruptivmassen halten sich ganz vorwiegend an die Umgebung des nördlichen Randes des nun sich bildenden Beckens, nämlich an die südliche Begrenzung der Cykladenkette. Soweit ich nach meinen Untersuchungen auf der Insel Kos urteilen kann, begannen die Eruptionen gegen Beginn des Pliocäns, erreichten aber ihren Höhepunkt erst in nachtertiärer Zeit.

Im Westen beginnen die griechischen Vulkane an der nordöstlichen Küste des Peloponnes mit der Halbinsel von Methana, die noch im Jahre 375 v. Chr. einen Ausbruch hatte; in der Nähe liegen die Inseln Poros und Ägina, dann folgen von Westen nach Osten Belopulo, Kuravi, Falkonera, Antimilos, Milos, Kimolos, Polinos, Polykandros, Antiparos, Santorin, Christiana, Kos und Nisyros.

Weitaus der wichtigste unter diesen Punkten und einer der meist genannten und beobachteten Vulkane der ganzen Erde ist Santorin (s. Abbildung, S. 221), das, schon seit langem als ein wichtiger Punkt bekannt, in neuerer Zeit durch den Ausbruch im Jahre 1866 die allgemeine Aufmerksamkeit erregt hat. Der Vulkan von Santorin oder Thera besteht aus einer Anzahl von Inseln; die große, halbkreisförmige Hauptinsel, das bedeutend weniger umfangreiche Therasia und das ganz kleine Aspronisi (Weiße Insel) bilden einen mehrfach durchbrochenen Ring, eine Somma, in deren Innerm mehrere kleinere Inseln, Paläa Kameni, Nea Kameni und Mikra Kameni (die alte, neue und kleine Brennende) und die winzigen Maionisi oder Mai-Inseln, liegen. All diese Inseln bestehen ganz aus vulkanischen Gesteinen, mit Ausnahme von Thera, das an seinem Ostrande eine den großen Eliasberg aufbauende Partie von kristallinischen Schiefern und Marmor trägt. Man hat die Zusammensetzung der Gruppe in der Weise erklären wollen, daß der äußere Ring einen Erhebungskrater bildet, in dessen Mitte dann die kleinern Inseln durch Aufschüttung entstanden wären; eine genaue Untersuchung hat aber gezeigt, daß in dem sogenannten Erhebungskrater einige Lagen von Lava, Aschen, Schlacken horizontal, andre stärker, andre schwächer geneigt sind, was mit der Annahme einer Elevation ebensowenig wie eine Reihe andrer Erscheinungen übereinstimmt. Wir haben es lediglich mit Aufschüttung zu thun, und die eingehenden Studien der neuern Zeit, welche sowohl die Nachrichten aus den Schriften des Altertumes

gesammelt, als auch die Erscheinungen selbst genau berücksichtigen, gestatten die Geschichte des Vorganges mit ziemlicher Sicherheit zu rekonstruieren: Gegen Ende der Pliocänzeit war nur eine kleine, isolierte Felsinsel, aus Schiefer und Marmor bestehend, vorhanden, der Eliasberg von Thera; noch während des Pliocäns begannen die Eruptionen an einer wenig westlich von dieser Klippe gelegenen Stelle und dauerten vermutlich während des



Die Santoringruppe im Ägeischen Meere (nach Fouqué). Vgl. Text, S. 220.

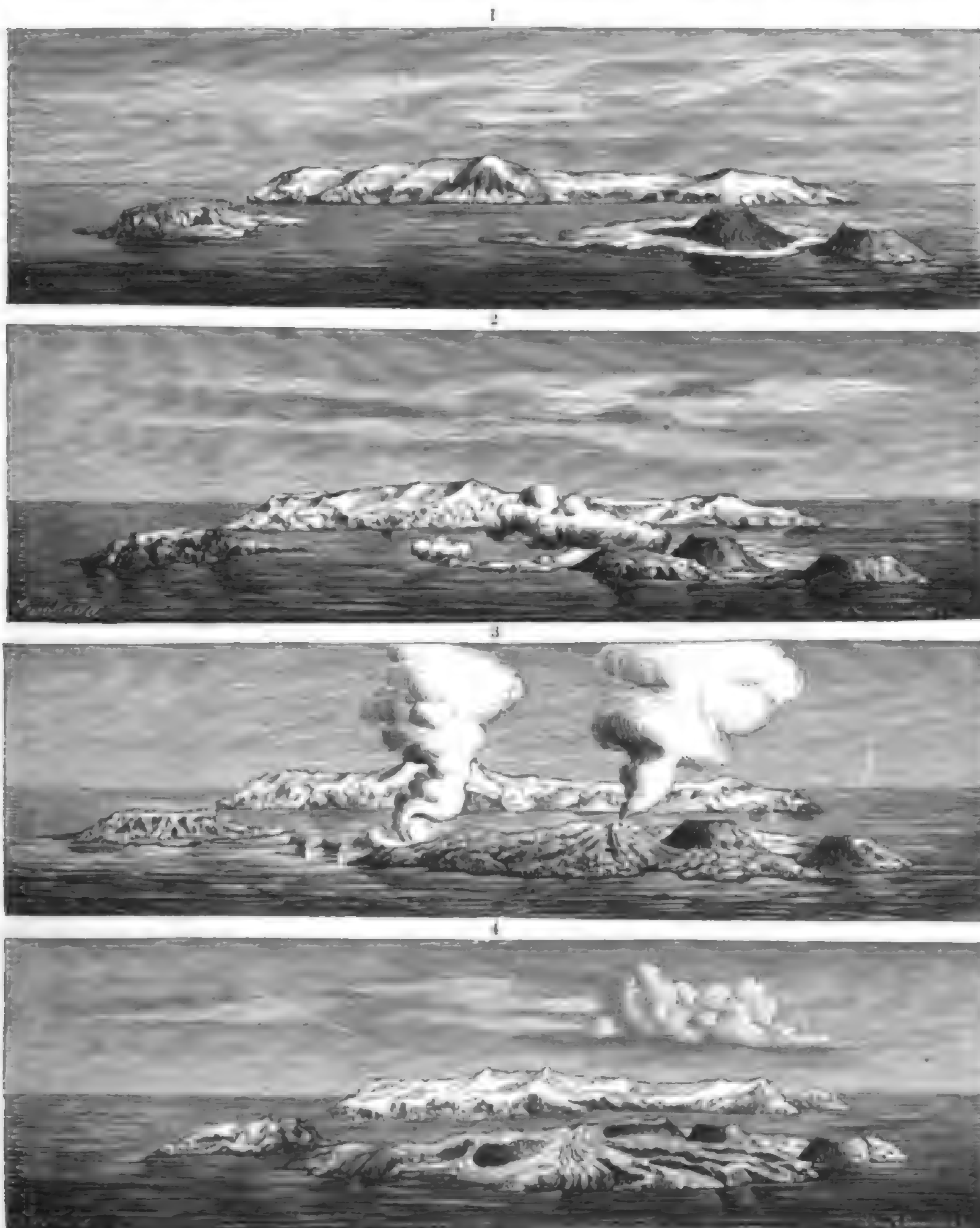
größten Teiles der Diluvialzeit fort. Es wurde ein großer Vulkankegel gebildet, der seine Aufschüttung so weit ausdehnte, daß die Felsinsel des Eliasberges in Zusammenhang mit demselben geriet; seine Reste finden wir heute in den drei Fragmenten der Umwallung in Thera, Therasia und Aspronisi wieder. Dieser Zustand dauerte bis in eine Zeit, aus welcher uns zwar keine geschriebene historische Urkunde aus jener Gegend erhalten ist, in der aber schon Menschen auf einem nicht ganz geringen Kulturstande die Insel bewohnten.

Wir erhalten hierüber namentlich durch Fouqué Nachricht. Die letzte heftige Eruptionsperiode des großen Kegels, die mit dessen Zerstörung endete, wurde, wie es scheint, durch

Auswerfung ungeheurer Massen von Bimssteinen eröffnet; dieses Material liegt in vielen der niedrigern Teile von Thera und Therasia in riesiger Mächtigkeit und wird zum Zwecke der Zementbereitung in großem Maßstabe gewonnen. Schon lange hatten an gewissen Punkten die Arbeiter bemerkt, daß nach unten sich dem losen, tuffigen Eruptivmateriale Steinblöcke beimischen, welche die weitere Gewinnung beeinträchtigen. Man hatte der Sache jedoch keine Bedeutung beigelegt, bis einige gebildete Einwohner der Insel, durch die Erscheinung alter Bauwerke unter der Tuffdecke angeregt, Nachgrabungen veranstalteten; man fand die Reste von Wohnhäusern, aus unbehauenen Gesteinstrümmern zusammengefügt, auf der Töpferscheibe gedrehte, aber nicht gebrannte Thongefäße, Waffen und Werkzeuge aus Stein. Daß die Einwohner Ackerbau trieben, bewies das Vorkommen von Gerstevorräten und von Oliven; von Haustieren fanden sich Reste von Schafen und Ziegen, und die große Menge von Holz, die beim Baue verwendet war, zeigte, daß reicher Baumwuchs auf der Insel herrschte, die heute nur noch einen einzigen Baum besitzt. An Metallgeräten wurden nur zwei Goldringe entdeckt, deren Material auf überseeischen Verkehr hinweist. Thera und Therasia bergen Reste solcher Dörfer, es war also hier in vorhistorischer Zeit eine namhafte, Ackerbau und Viehzucht treibende Bevölkerung, welche durch die folgenden Katastrophen vollständig vertilgt oder vertrieben wurde.

Nach der großen und vermutlich lang andauernden Eruptionsperiode, die mit der Verschüttung der prähistorischen Ansiedelungen durch Bimssteinauswürflinge begann und mit dem Einsturze des Kegels abschloß, scheint eine sehr lange Periode der Ruhe eingetreten zu sein; erst aus dem Jahre 198 v. Chr. wird von einem Ausbruche im Innern des Kraterringes berichtet, bei welchem die Insel Hiera, jetzt Paläa Kameni, aufgeschüttet wurde. Von da an erfolgten häufiger Eruptionen, welche bald Inseln bildeten, die wieder verschwanden, bald Paläa Kameni vergrößerten, wie das im Jahre 726 geschah, während im Jahre 1457 ein Stück dieser Insel wieder eingestürzt zu sein scheint. Nach 847 Jahre dauernder Ruhe folgte im Jahre 1573 ein neuer Ausbruch, bei welchem sich Mikra Kameni bildete; eine submarine Eruption nahe bei Santorin, aber außerhalb des Ringwalles, erzeugte im Jahre 1650 eine Untiefe, die Kolumbusbank. Eine überaus heftige und intensive Thätigkeit eröffnete das Zentrum des Ringes im Jahre 1707; fünf Jahre dauerte dieselbe an und bildete die größte der drei im Innern von Santorin gelegenen Inseln, die Nea Kameni. Dann erlosch wieder alles, bis der 26. Januar 1866 eine neue Ausbruchsperiode eröffnete, deren Höhepunkt zwar schon längst überschritten ist, deren Nachwirkungen sich aber noch immer fühlbar machen. An dem genannten Tage bemerkte man das Herabrollen von Steinen an dem alten Auswurfskegel der Nea Kameni, Häuser erhielten Risse. Am 30. Januar wurden die Anzeichen energischer, Steine stürzten ab, ein dumpfes Getöse wurde vernehmbar, im Hafen stiegen Gasblasen auf, das Wasser begann zu kochen; am 1. Februar zeigte sich die Südwestseite von Nea Kameni zerklüftet, aus dem Wasser des Meeres schlugen in der Nacht kleine Flammen empor. Das Wasser erhitzte sich, und nahe dem Südwestrande von Nea Kameni erhob sich ein isolierter schwarzer Lavablock aus der Flut; andre gesellten sich zu ihm, es war ein submariner Lavastrom, der sich hier emporhob und eine neue Insel, „Georgios“, bildete, die sich aber schon am 5. Februar mit Nea Kameni vereinigte. Um diese Zeit geriet das Meer südwestlich in kochende Bewegung, auch hier schob sich erst ein Lavablock, dann eine ganze Insel an die Oberfläche, die „Aphroessa“, welche sich ebenfalls bald mit der Kameni vereinigte. Am 20. Februar entwickelte der Georgios eine furchtbare Explosion, glühende Lavatrümmer wurden emporgeschleudert, noch eine dritte Insel, „Reka“, wurde aufgeworfen, die sich mit der Aphroessa vereinigte, und im Verlaufe des Mai 1866 bildeten sich die Mai-Inseln. In wechselnder Heftigkeit dauerte die Eruption jahrelang fort, allmählich sich abschwächend, aber ohne bis heute erloschen zu sein.

Die untenstehenden Abbildungen stellen den Schauplatz dieser Ereignisse in verschiedenen Stadien dar; sie sind alle von demselben Standorte auf Thera aufgenommen und zeigen im Hintergrunde die langgestreckte Insel Therasia, einen Teil des ältesten Ringwalles.



Die Kameni-Inseln: 1 vor der Eruption — 2 und 3 während der Eruption — 4 nach der Eruption vom Jahre 1866; im Hintergrunde die Insel Therasia (nach Fouqué).

In der obersten Abbildung, welche die Gegend vor dem Ausbruche darstellt, liegt vor Therasia ganz links Paläa Kameni, rechts Nea und Mikra Kameni, hier scheinbar fast zusammenhängend, in Wirklichkeit aber durch einen Meeresarm voneinander getrennt. Auf der zweiten Abbildung sehen wir den Georgios aufgeschüttet und in voller Thätigkeit; die dritte zeigt das noch viel bedeutendere Anwachsen der Nea Kameni und zwischen dieser und

Paläa Kameni zwei kleine Klippen, die von Fritsch zuerst erwähnten und benannten Mai-Inseln. Im Bilde vom Jahre 1870 endlich hat sich Nea Kameni so sehr vergrößert, daß die Mai-Inseln verdeckt werden und die drei Kamenen scheinbar zusammenhängen.

Über die andern griechischen Inseln ist weniger zu berichten; Milos ist nur teilweise aus eruptiven Gesteinen gebildet und befindet sich im Zustande der Solfatarenthätigkeit; auf Kos gibt es mehrere kleine Trachytvorkommnisse, von denen zwei noch schwache Solfatarenthätigkeit äußern, und besonders ist dort ein bedeutender Rhyolithberg, der Zeni, zu nennen, der gewaltige Massen von Bimsstein und Asche ausgeworfen zu haben scheint; wenigstens finden sich auf Kos altdiluviale Meeresablagerungen, die ganz aus derartigem Tuffmateriale bestehen und nach dem Zeni hin gewaltig an Mächtigkeit zunehmen. Nisyros ist ein prachtvoller Vulkan, der sich schwarz aus der blauen Flut erhebt und einen ausgezeichneten Krater trägt; im 15. Jahrhundert soll eine Eruption stattgefunden haben, und zu Anfang der siebziger Jahre unsers Jahrhunderts begann wieder einige Aufregung. Heftige Erdbeben erschreckten die Einwohner namentlich im Jahre 1873, doch habe ich, als ich 1874 das benachbarte Kos besuchte, nichts von eigentlichen Ausbruchserscheinungen gehört, und nie zeigte sich die Spur einer Rauchwolke am Gipfel. Nach Roß, der den Krater erstieg, befindet sich derselbe in energischer Solfatarenthätigkeit. Die in der Nähe von Nisyros gelegene Insel Yali scheint keine selbständige Eruptionsöffnung zu besitzen, sondern lediglich aus Tuffen aufgebaut zu sein, deren Material von Nisyros oder vom Zeni auf Kos stammen dürfte.

Die Vulkane Asiens, Ostafrikas und des Indischen Ozeans.

Die kleinasiatische Halbinsel hat zwar sehr viele Eruptivgesteine, aber nur wenige jüngere, durchgehends erloschene Krater, welche sich merkwürdigerweise alle fern von der Küste weit im Innern des Landes befinden. Etwa 15 Meilen östlich von Smyrna ist ein großer Eruptivbezirk mit zahlreichen Kegeln, der schon seit alters den Namen Katakekaumene („das verbrannte Land") führt, aber nur drei Kegel haben deutliche Krater und Lavaströme. Noch weiter östlich, ungefähr in gleicher ostwestlich verlaufender Linie, liegen andre erloschene Vulkane bei Afinn-Kara-Hissar, ferner der 2400 m hohe Hassan Dagh und endlich der 3841 m hohe Argäus oder Erdschjas Dagh.

Von kolossaler Entwickelung sind die trachytischen und basaltischen Gesteine im armenischen Hochlande und im Kaukasus. Hier treten im Westen bei Erzerum die zwei mächtigen Kratergebirge auf, der Bingöl und der Palandokän, von welchen der letztere durch die Teilnahme sedimentärer und altkristallinischer Gesteine am Kraterbaue in hohem Grade bemerkenswert ist und, wie S. 177 gezeigt wurde, wesentlich die Anschauungen der Erhebungstheorie zu stützen scheint. Ferner ist der Tandurek zu nennen, ein mächtiger Berg, dessen Krater sich noch heute im Zustande der Solfatarenthätigkeit befindet. Die Umgebung von Kars, das Plateau von Karabagh mit vier Vulkanen, welche Kraterseen bergen und gewaltige Lavaströme entsendet haben, gehört hierher, ferner die Vulkane des Plateaus von Agmangan, vor allen aber der König des armenischen Hochlandes, der Ararat. Der 5604 m hohe Große Ararat war bis ins 15. Jahrhundert thätig und gab gewaltige Lavaströme meist aus den untern Teilen seines Gehänges von sich; auch der Kleine Ararat ergoß große Lavamassen. Auch der Kaukasus hat eine große Anzahl bedeutender erloschener Vulkane, unter denen vor allen die zwei höchsten Gipfel, der 5660 m hohe Elbrus und der Kasbek mit 5043 m, durch deutliche Krater charakterisiert sind.

In Persien ist ein gewaltiger Vulkan, der noch jetzt in Solfatarenthätigkeit ist, bisweilen eine Dampfwolke tragen soll und aller Wahrscheinlichkeit nach in historischer Zeit

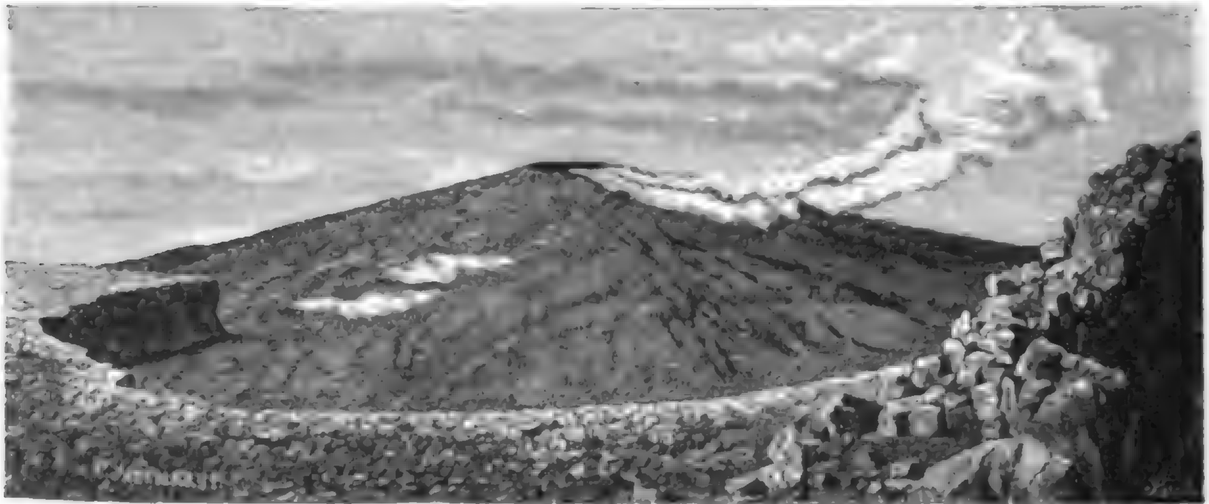
wirkliche Ausbrüche hatte; es ist der, wie es scheint, etwa 6500 m hohe Demawend, der höchste Gipfel des Elburzgebirges, welches den Kaspisee nach Süden einrahmt. Wir haben schon früher (S. 176) diesen merkwürdigen Berg als ein Beispiel eines Vulkanes kennen gelernt, der, einer Gebirgskette aufgesetzt, sich über derselben aufbaut, ohne deren Bau im geringsten zu alterieren, und aufs deutlichste zeigt, daß dem Feuerberge keinerlei Einfluß auf die Aufrichtung der Kette oder auch nur eine umgestaltende Einwirkung zukommt. Im Innern der persischen Hochebene treten an vielen Punkten jüngere Eruptivgesteine auf.

Auf der Ostseite des Kaspischen Meeres wird ein Vulkan von der Halbinsel Mangischlack erwähnt. Weiter im Osten, im Zentrum des asiatischen Kontinentes, enthält die Kette des Thianschan Reste erloschener Eruptionen, die von großer Wichtigkeit sind, da sie in ungeheurer Entfernung vom Meere, vom polaren wie vom Indischen Ozeane, liegen und keinen großen Binnensee in ihrer Nähe haben, mit dem sie in Verbindung gebracht werden könnten. Der Thianschan bildet den nördlichen Grenzwall jener gewaltigsten Kontinentalerhebung der Erde, deren Knotenpunkt das Pamirplateau, „das Dach der Welt“, bildet. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts gelangten Nachrichten über thätige Vulkane im Thianschan nach Europa, und namentlich seitdem Humboldt nach den Berichten früherer Reisender, nach chinesischen Geschichtswerken sowie nach eignen Erkundigungen bei Einwohnern benachbarter Bezirke zahlreiche Daten darüber zusammengestellt hatte, nahm man allgemein an, daß jenes Gebirge der Sitz weit ausgebreiteter vulkanischer Thätigkeit sei. Aber schon im Jahre 1840 wurde die Nichtexistenz eines dieser Vulkane, am See von Alakul, nachgewiesen. Im Jahre 1857 zeigte Semenow, daß die angeblichen Feuerberge von Kullok und Katu im Thale des Ili nur auf Erscheinungen beruhen, welche durch brennende Kohlenflöze hervorgerufen sind, und in neuerer Zeit hat Muschketow gefunden, daß die Annahme von Solfataren bei Urumtschi, Turfane und Kukscha auf ebensolchen Verhältnissen basiert ist. Doch macht Muschketow darauf aufmerksam, daß es allerdings noch einen Punkt gibt, dessen vulkanische Natur nicht widerlegt ist, nämlich der Berg Peschan oder Baischan, für welchen auch die chinesischen Schriftsteller positivere Angaben machen als über die andern Punkte, Angaben, die in keiner Weise durch Annahme eines brennenden Kohlenflözes erklärt werden können: „Baischan stößt fortwährend Rauch und Flammen aus; auf einer Seite brennen alle Steine, sie schmelzen und fließen ein Dutzend Li (1 Li = 575½ m) weit. Die geschmolzene Masse erhärtet bei der Abkühlung. Hier wird auch Schwefel gewonnen.“ So bestimmt diese Nachricht auf einen Lavastrom zu deuten scheint, dürfte man ihr doch nach den übrigen Erfahrungen, die man mit den Vulkanen des Thianschan gemacht hat, keinen großen Wert beilegen, wenn nicht neuerdings ein sehr erfahrener Geolog jene Angabe bestätigt hätte: Stoliczka fand bei einer Exkursion, die er nördlich von Kaschgar unternahm, im südlichsten Teile des Thianschan, etwas südlich vom See Tschatyrkul, einen deutlichen erloschenen Krater. Ebenfalls weit vom Meere entfernt ist ein zweiter Vulkandistrikt in einem weit östlichern Teile von Asien; in der Mandschurei, 25 km von der Stadt Mergen, am Noni, einem Nebenflusse des Songari, der sich in den Amur ergießt, liegen Vulkane, über deren Ausbrüche chinesische Schriftsteller berichten; die letzte Eruption soll im Jahre 1720 in jener Gegend stattgefunden haben. In der That traf Fürst Krapotkin dort erloschene Vulkankegel mit sehr frisch aussehenden Lavaströmen.

Wir wenden uns einer andern Region zu: im Innern von Syrien findet sich südlich und östlich von Damaskus ein sehr ausgedehntes vulkanisches Gebiet, das im Haurangebirge seine bedeutendste Entwickelung hat, mit weit ausgedehnten Lavafeldern und einer großen Menge von Ausbruchskegeln. Es kann kaum ein Zweifel sein, daß die Thätigkeit desselben sich noch in nachtertiäre Zeit erstreckte, trotz der vom Meere sehr weit entfernten Lage. Arabien ist reich an Vulkanen; in der Nähe von Medina, also fast 30 Meilen vom

Meere entfernt, fand im 13. Jahrhundert eine furchtbare Eruption statt. Vom 15.° nördlicher Breite zieht sich eine Kette von Eruptivpunkten an der Westküste nach Süden und dann an der Südküste hin; speziell die Umgebung von Aden ist reich an Kratern, und die Stadt selbst liegt in einem solchen. Von der Ostküste Arabiens ist das Vorkommen von Bimsstein, Obsidian an der Straße von Ormus bekannt. Im Roten Meere hatte der Dschebel Tarr im Jahre 1834, die Saddle-Insel 1824 eine Eruption, und beide stoßen noch Rauch aus; ferner sind die Zeybeyar- und Baheme-Inseln sowie Abeïlat junge Vulkane, und der ausgezeichnete Hafen der Insel Perim im Eingange des Roten Meeres besteht aus einem großen Krater, dessen eine Seite eingestürzt ist und dem Meere den Eintritt ins Innere des Kessels gestattet. Ebenso ist der etwas südlicher gelegene Golf von Gubet-Harab gebildet.

Aus dem Innern Afrikas werden von verschiedenen Punkten Basalte citiert. Von thätigen Vulkanen ist nichts Bestimmtes bekannt; ein solcher, der aus Kordofan angegeben



Der Piton de la Fournaise auf der Insel Bourbon (nach Vélain).

wird, scheint mythisch, ebenso wie die Vulkankegel und Kraterseen in der zentralen Sahara. Sehr reich an Vulkankegeln, von denen einige noch zur Zeit der Ptolemäerherrschaft über Ägypten thätig gewesen sein sollen, ist Abessinien; die Küstengegend von Ostafrika vom 9.° nördlicher Breite bis zum Äquator ist ein eminent vulkanisches Gebiet mit einer großen Menge teils noch thätiger Kegel und mit gewaltigen Lavamassen; die Eruptionspunkte reichen von der Küste weit landeinwärts. Zwei weitere Vulkane, welche die Schneegrenze erreichen, befinden sich unter 2° südlicher Breite, und noch weiter südlich wird bei Mosambik ein solcher genannt.

Wir haben damit die Betrachtung des Indischen Ozeanes und seiner Umrandung begonnen. An die Vorkommnisse in Ostafrika schließen sich eine Anzahl von insularen Punkten an und zwar an die Mosambikküste die Komoren mit zwei thätigen Feuerbergen, dann die erloschene Vulkaninsel Mayotte, endlich Madagaskar, in dessen nordwestlichstem Teile vier thätige Vulkane bekannt sind, während von andern Regionen dieser riesigen Insel die eruptive Beschaffenheit wahrscheinlich ist. Weiter entfernt von diesem Gebiete liegen die durchaus vulkanischen Maskarenen, deren größte, Bourbon, durch einen mächtigen aktiven Feuerberg ausgezeichnet ist (s. obenstehende Abbildung). Im südlichen Teile des Indischen Ozeanes stehen die beiden isolierten Kraterinseln St. Paul und Amsterdam (s. die Abbildungen, S. 187 und 227). Noch weiter südlich liegen die Prinz Edwards-Insel und die Crozetgruppe unter 46° südlicher Breite, Kerguelensland unter 48°.

Indem wir uns zu dem nordöstlichen Teile des Indischen Ozeanes wenden, treffen wir auf die äußersten Ausläufer des früher erwähnten Kranzes von Feuerbergen, welche den größten Teil des Stillen Ozeanes umrahmen. Die vorderindische Halbinsel hat zwar ungeheure Massen von alttertiären Eruptivmassen, den sogenannten Trapp des Dekhan, aber jüngere Vorkommnisse fehlen hier ebenso wie in Hinterindien; dagegen sind solche mehrfach im Golfe von Bengalen vorhanden. Ein submariner Ausbruch fand an der Ostküste Vorderindiens, in der Nähe von Ponditscherri, statt. An der Westküste von Hinterindien treffen wir auf den Anfang einer gewaltigen, etwa 750 geogr. Meilen langen Vulkanreihe, die in weitem Bogen Hinterindien und den Südwestrand der malaiischen Inselwelt umspannt; als nördlichste Punkte treten vereinzelte Vulkane auf dem Festlande in Birma im Gebiete des Irawadi auf, deren entlegenster bei Bhamo ungefähr unter 24° nördlicher Breite liegt.



Ein kleiner Krater auf der Insel Amsterdam (nach Vélain). Vgl. Text, S. 226.

Weiterhin begegnen wir unter 19° 30′ nördlicher Breite den Inseln Ramri und Tschebuba mit dem Berge Raguain an der Küste von Arrakan, von denen die letztere im Jahre 1839 einen Ausbruch hatte; dann folgen unter den Andamanen der erloschene Vulkan Narcondam (13° 24′ nördlicher Breite) und die seit der Zeit L. v. Buchs vielgenannte Barreninsel, ein stets thätiger kleiner Krater gleich dem Stromboli an der italienischen Küste, von einer Somma umgeben, in deren Inneres das Meer eintritt. In der weitern Fortsetzung gelangen wir zu den Großen Sunda-Inseln, zunächst zu Sumatra, und hier finden wir eine wesentliche Steigerung der vulkanischen Intensität, welche dann auf Java den Höhepunkt erreicht.

Daß die Krater an der Küste von Arrakan und auf den Andamanen in der That zu der Vulkanreihe der Sunda-Inseln zu zählen sind, geht nicht nur aus ihrer geographischen Lage, sondern mit größerer Sicherheit aus dem ganzen geologischen Baue jener Gegenden hervor. Das Gebirge von Arrakan besteht aus einer nordsüdlich streichenden Gebirgskette; dieselbe ist wesentlich aus alttertiären und der Kreideformation angehörigen Sandsteinen und Schiefern aufgebaut, die teils in normaler Entwickelung auftreten, teils mehr oder weniger metamorphosiert sind und in Verbindung mit Serpentinen stehen. Die Andamanen und Nikobaren zeigen dieselbe Zusammensetzung und eine Streichungsrichtung, welche im Norden in der direkten Fortsetzung des Arrakangebirges liegt, südlich aber in die Richtung von Sumatra umschwenkt, wo wir die Fortsetzung desselben Systemes finden. Alle diese

Inseln bilden die Stücke eines teilweise untergegangenen Gebirges, dessen Verlauf von den genannten Vulkanen begleitet wird.

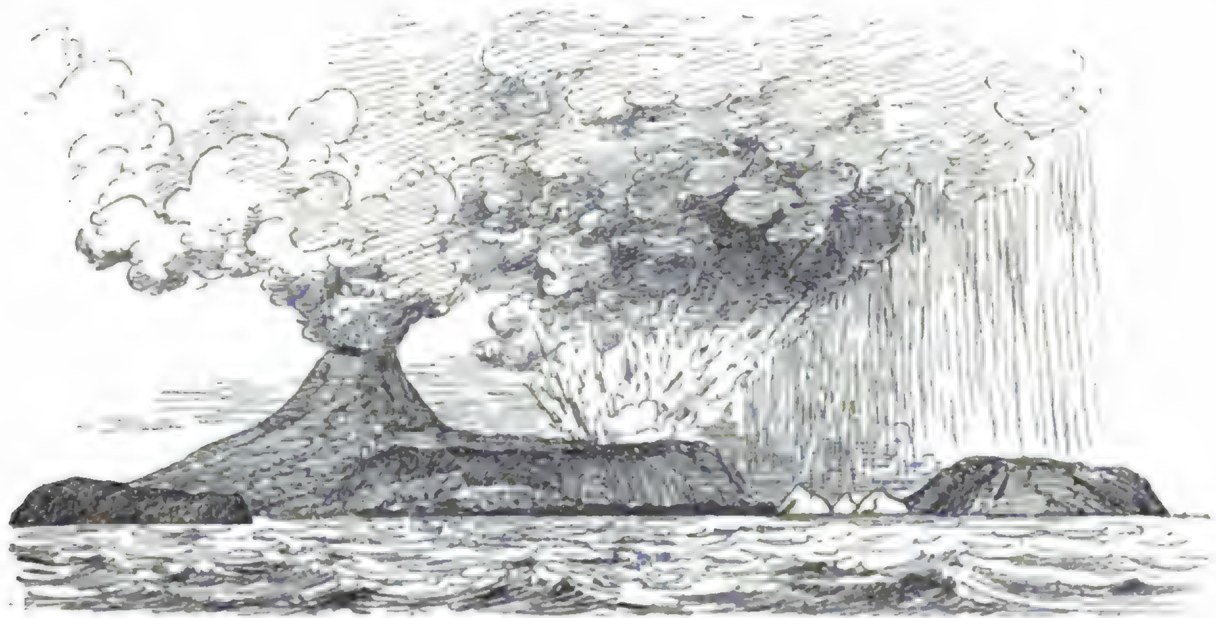
Von den 19 Vulkanen auf Sumatra sind 7 thätig, und einige Kraterseen besitzen eine Größe, welche auf der ganzen Erde unerreicht dasteht. In der Sundastraße liegen einige vulkanische Inseln, von denen bis vor kurzem nur bekannt war, daß sie auf einer gemeinsamen Spalte stehen, und daß eine derselben, Krakatau oder Poeloe Rakata genannt, 1680 in Thätigkeit war. Plötzlich geriet diese im Mai 1883 wieder in Aufregung, welche in einem Ausbruche von so furchtbarer Gewalt gipfelte, wie er nur selten beobachtet worden ist. Die ersten nach Europa gelangenden Nachrichten ließen eine Katastrophe von so ungeheuern Dimensionen vermuten, daß sie alle andern bekannten vulkanischen Erscheinungen weit hinter sich zurückzulassen schien. Allerdings stellte sich allmählich heraus, daß viel davon lediglich auf Übertreibungen der geängstigten Einbildungskraft, ja sogar auf absichtliche Fälschung zurückzuführen sei; aber immerhin bleibt die Eruption eine der gewaltigsten, die wir kennen, und übertrifft durch den Umkreis, in welchem die Detonationen gehört wurden, durch den Betrag an geographischer Veränderung, die sie hervorbrachte, vermutlich auch durch die Höhe, bis zu welcher die Asche emporgeschleudert wurde, alle übrigen, während sie an Masse der Auswurfsprodukte hinter einigen andern (Tambora, Conseguina) zurückbleibt.

Da die Insel Krakatau unbewohnt ist und nur hier und da von Fischern aus Sumatra besucht wird, so liegen über die Anfänge der Eruption und über etwaige Vorboten derselben keine Nachrichten vor. Die ersten Beobachtungen wurden von Schiffen, welche die Sundastraße passierten, zu einer Zeit gemacht, als die Erscheinungen schon sehr auffallend waren. Am 20. Mai sah man von dem deutschen Kriegsschiffe Elisabeth aus eine riesige Pinienwolke sich aus dem Krater erheben, welche nach genauen Messungen die enorme Höhe von 11,000 m erreichte; gleichzeitig fiel trotz der weiten Entfernung Asche auf dem Verdecke des Schiffes nieder. Die Erscheinungen dauerten mehrere Tage und wurden noch von einigen weitern Schiffen wie auch von Anjer und andern Punkten an der Westküste der Insel Java gesehen; bis Batavia fühlte man Erdstöße, hörte man Explosionen. Ein leichter Aschenregen fiel nieder, aber die Einwohner wußten noch nicht, von welchem vulkanischen Herde ihnen diese Anzeichen kamen. Im Verlaufe einiger Tage nahmen die Erscheinungen wieder ab, doch scheint bis zum Eintritte der Hauptkatastrophe, Ende August, gemäßigte Thätigkeit mit einigen mächtigen Paroxysmen abgewechselt zu haben. Mitte Juni hat wahrscheinlich eine heftigere Aufregung Platz gegriffen, und Anfang August traf der englische Dampfer Siam 16 Grade westlich von der Sundastraße auf große Massen von schwimmendem Bimssteine, die ohne Zweifel von Krakatau herrührten, da kein andrer Vulkan jener Region in Thätigkeit war und es sehr unwahrscheinlich ist, daß diese Schlacken von einem submarinen Ausbruche herrühren.

Der 26. August brachte die große Katastrophe, über die wir allerdings nur das wissen, was von einigen in der Nähe vorbeifahrenden Schiffen und an den Küsten von Java und Sumatra beobachtet werden konnte. Wäre auch Krakatau bewohnt gewesen, so hätte doch kein menschliches Wesen jene Schreckenstage überlebt, da selbst die Bevölkerung der etwa 20 km entfernten Insel Sebesie vollständig vernichtet worden ist. Der Tag brach klar und heiter an, um 2½ Uhr nachmittags bemerkte das englische Schiff John Bull eine verstärkte Thätigkeit des Vulkanes, gegen Abend fiel leichter Aschenregen in Lampong auf Sumatra; in Anjer und einigen benachbarten Orten der javanischen Küste wunderte man sich, daß unmittelbar nach Sonnenuntergang tiefe Finsternis eintrat. Man hörte einige Detonationen, das Meer wurde unruhig, wobei einige kleinere Fahrzeuge untersanken oder ans Land geworfen, ein Teil der Ufer vom Wasser überspült, einzelne Dörfer überschwemmt wurden; doch war für den Augenblick der Verlust an Leben und Gütern noch kein sehr großer. Weit heftiger machten sich, wohl infolge der herrschenden Windrichtung, die Wirkungen der

Eruption gegen Süden geltend. Dichter Aschenregen überschüttete die Fahrzeuge, dazwischen fielen größere glühende Steinfragmente, und die Menge der Auswürflinge war so groß, daß sie auf dem Verdecke der Berbice um 2 Uhr nachts fast 1 m hoch lagen. Undurchdringliche Finsternis herrschte, der Berg donnerte fürchterlich, und unausgesetzt fuhren Blitze nieder. Eine überaus starke elektrische Spannung herrschte in der Atmosphäre, allenthalben im Tauwerke und an den Masten zeigten sich die Flämmchen des Elmsfeuers, „wie feurige Schlangen schossen die Strahlen um den Mast hin". Der Matrose am Steuerruder der Berbice war kaum im stande, seinen Platz zu halten, wegen der unaufhörlichen elektrischen Schläge, die er bei jeder Berührung der Metallteile des Steuers erhielt.

Gegen Morgen des 27. Augustes wurde es etwas hell; allein bald trat wieder tiefste Finsternis ein, welche 18 Stunden anhielt. Ungeheure Massen von Asche, die teilweise mit



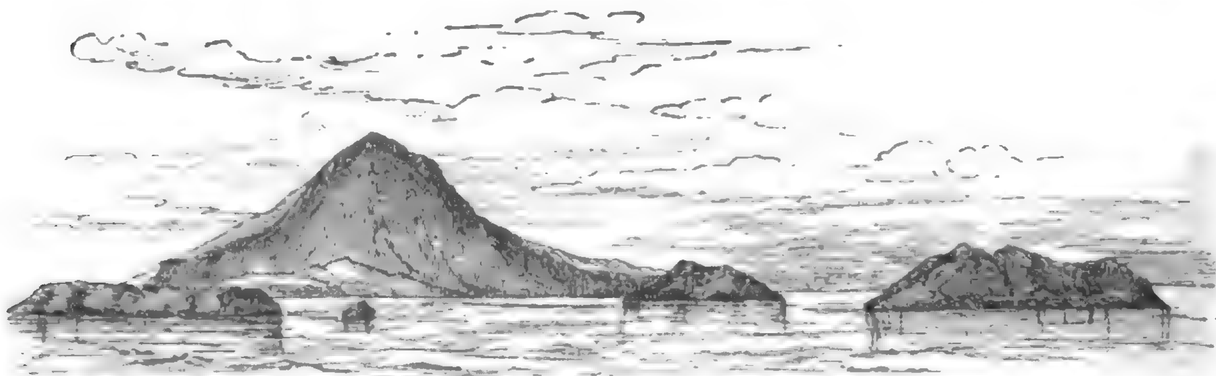
Krakatau während der Eruption (nach E. Metzger).

Wasser zu einem zähen, schlammigen Teige zusammengemengt war, von Bimsstein, Schlacken überschütteten die Sundastraße und die angrenzenden Teile von Java und Sumatra; mächtige Sturzwellen ergossen sich seit 6 Uhr morgens über die niedrigen Teile des Landes. Ungefähr um 10 Uhr vormittags trat der Höhepunkt der Katastrophe ein; infolge einer furchtbaren Explosion oder des Einsturzes der Insel Krakatau brandete das Meer rasend auf, eine einem Berge vergleichbare, etwa 30 m hohe Meereswoge eilte landeinwärts, einige weitere folgten; Städte und Dörfer, Wälder, der Körper des an der Javaküste verlaufenden Eisenbahndammes, ganze Stücke Landes waren vernichtet und verschwunden, als die große Flut sich zurückzog; die Städte Anjer, Bantam und Merak und eine Reihe andrer existierten nicht mehr, an manchen Orten, z. B. auf den Inseln Sebesie und Seramy, ging die ganze Bevölkerung zu Grunde. Einzelne entkamen wie durch ein Wunder, indem sie durch die erste große Welle „wie Strohhalme" landeinwärts geschwemmt und hier trocken abgesetzt wurden, ohne während dieser furchtbaren Fahrt zerschmettert oder ertränkt zu werden.

Was weiter geschah, ist schwer zu berichten; die Todesangst, der Kampf ums Leben beschäftigten allein die Überlebenden, Finsternis umgab alles. Aschenregen, Explosionen, Sturm und Gewitter dauerten fort. Am 28. August morgens wurde es wieder hell, der Ausbruch war noch nicht vorüber, aber er hatte bedeutend nachgelassen; die nächstgelegenen Küstenstrecken von Java und Sumatra jedoch hatten ihr Aussehen so vollständig verändert,

daß man die einzelnen Punkte nur ihrer Lage, nicht ihrem Aussehen nach wiedererkannte. Die tropische Vegetation war verschwunden, soweit die Sturzwellen landeinwärts gedrungen waren, der Boden war kahl, mit mißfarbigem Schlamme und Auswurfsprodukten, mit entwurzelten Bäumen, Trümmern von Gebäuden, mit Leichen von Menschen und Tieren bedeckt. In der Sundastraße schwammen ungeheure Mengen von Bimsstein, mit Bäumen und Leichen untermischt. Die Zahl der Opfer beträgt nach amtlichen Berichten gegen 40,000.

Was war nun aber am Krakatau selbst während dieser Zeit geschehen? Am 26. August bildete er eine Insel von 33½ qkm, mit einem großen Vulkankegel von 822 m Höhe und zwei kleinern Kratern; aus einem von diesen letztern brach die große Eruption hervor. Am 28. August war der größere Teil der Insel im Meere verschwunden, nur 10½ qkm von der alten Insel waren übriggeblieben. An den Rändern dieser Ruine aber waren breite Streifen von vulkanischen Produkten neu angeschwemmt worden, so daß der neue Krakatau jetzt eine Ausdehnung von 15½ qkm hat. Der Bruch geht mitten durch den großen Kraterberg, von dem noch der eine Abhang 800 m hoch aufragt; in senkrechten Wänden stürzt er gegen das



Krakatau nach der Eruption (nach C. Metzger).

Meer ab, welches jetzt die Stelle des Kraters einnimmt. Wo früher festes Land war, sind jetzt Meerestiefen von 200 bis 300 m, aus deren Mitte eine einzelne Klippe hervorragt. Es kann sich hier nicht um eine große Senkung handeln, da außerhalb des Kraterbereiches selbst das Meer nirgends tiefer, sondern infolge der Aufschüttung vulkanischer Materialien rings um Krakatau seichter geworden ist. Offenbar haben wir es nur mit den Wirkungen der vulkanischen Explosionen zu thun, welche den verschwundenen Teil der Insel entweder unmittelbar in die Luft sprengten oder mittelbar, indem der Berg einstürzte und seine heruntergebrochenen Trümmer, welche sich auf die Ausbruchsöffnung legten, hinweggeschleudert wurden. Man kann sich den Verlauf der Eruption etwa in der Weise vorstellen, daß der alte Krater durch die Heftigkeit der Stöße zerriß, sich spaltete und dann einstürzte, nachdem er infolge der ungeheuern Menge der ausgeschleuderten Materialien unterhöhlt war. Der Einsturz ging bis unter den Seespiegel hinab, so daß nun plötzlich das Meerwasser in den geborstenen Krater in breitem Strome hereinbrach und sich auf die glühenden Massen stürzte. Es erfolgte darauf eine gewaltige Explosion, die Trümmer des Kraters, die einstürmenden Fluten wurden in die Luft geschleudert, und das Meer ringsum geriet in furchtbare Aufregung.

Aller Wahrscheinlichkeit nach war jene vernichtende Sturzwelle, welche am 27. August gegen 10 Uhr die Küsten der Sundastraße verwüstete, die Folge dieser Katastrophe. Es ist von Interesse, den Verlauf dieser großen Woge etwas näher zu betrachten. Je nach der Beschaffenheit des Ufers und den verschiedenen örtlichen Verhältnissen war ihre Höhe verschieden; an dem Leuchtturme von Vlakken Hoek war sie 15 m hoch, bei Telok Betong 22 m, bei Merak, Anjer und an der Insel Dwars in den Weg 35 m. Die Bewegung

des Wassers beschränkte sich nicht auf die Sundastraße, sie pflanzte sich fort und wurde nach Verlauf einiger Zeit selbst an den entferntesten Küsten bemerkt. Überall im Gebiete des Indischen Ozeanes, auf Ceylon, Mauritius, in Port Elizabeth (Kapkolonie) und zu Aden am Eingange des Roten Meeres, brandete sie, natürlich mit einer durch die Entfernung sehr verminderten Stärke, an die Ufer. Über den ganzen Stillen Ozean bewegte sie sich gegen Osten und brach sich an der Westküste Amerikas (z. B. San Francisco), ja sie erreichte selbst den Atlantischen Ozean, wo sie z. B. an der französischen Küste und zu Colon am Isthmus von Panama beobachtet wurde; es rauschte also wohl der Ozean an allen seinen Küsten auf. Es liegen auch mehrfache Angaben über die Zeit vor, zu welcher die Welle eintraf, so daß man ein Urteil über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung wird abgeben können. Aus der Zeit, welche die Welle brauchte, um Port Elizabeth in Südafrika zu erreichen, wird z. B. eine Geschwindigkeit von 306 Seemeilen in der Stunde abgeleitet.

Wie das Meer, so wurde auch die Atmosphäre in heftige Bewegung versetzt. Mehrfach wird von wütenden Orkanen berichtet, welche in der Nähe des Krakatau tobten; in der Umgebung zeigten alle Barometer fieberhafte Erregung und schwankten innerhalb kurzer Zeiträume um Beträge von 2 Zoll. Vor allem aber erzeugte die Hauptexplosion, welche am 27. August gegen 10 Uhr morgens stattfand, eine Luftwelle von solcher Gewalt, daß sie sich über die ganze Erde hin fortsetzte. Allerdings war in fernen Gegenden, in Europa, in Nordamerika und in Südgeorgia, östlich vom Kap Horn, von wo namentlich Beobachtungen vorliegen, die Wirkung keine so starke mehr, daß sie die Menschen an sich hätten fühlen können; sie wurde nur da bemerkt, wo genaue meteorologische Instrumente vorhanden waren. An solchen bemerkte man aber ganz allgemein in den letzten Tagen des Augustes und den ersten Tagen des Septembers von Zeit zu Zeit ein kurz dauerndes, rasches Fallen und Steigen des Barometers, welches man sofort der durch die große Explosion des Krakatau erzeugten Luftwelle zuschrieb. Die Art und Weise, in welcher diese Schwankungen eintraten, erhellt am besten, wenn wir die Erscheinung betrachten, wie sie an einem bestimmten Punkte auftrat. „Die erste atmosphärische Welle jenes Ursprunges ist in Berlin etwa 10 Stunden nach der Katastrophe erschienen, woraus unter Zugrundelegung der kürzesten Entfernung Berlins vom Ursprunge eine Geschwindigkeit von etwas mehr als 1000 km in der Stunde ermittelt worden ist. Etwa 16 Stunden später ist sodann eine zweite, ganz ähnliche Barometerschwankung eingetreten, welche aber nichts andres darstellt als das Erscheinen derselben Luftwelle auf dem zweiten, erheblich längern Wege, den dieselbe über Amerika nach Europa zurückgelegt hat. Berücksichtigt man nämlich den Unterschied der beiden Weglängen einmal von der Sundastraße nach Berlin über Ostindien, das andre Mal über Amerika, so ergibt sich unter Voraussetzung der vorerwähnten Geschwindigkeit in der That eine Verspätung der über Amerika kommenden Luftwelle von nahezu 16 Stunden.

„Im weitern Fortgange hat alsdann die ganze Welle eine Umkreisung der Erde vollführt, deren Dauer unter der Annahme jener Geschwindigkeit etwa 36 Stunden betragen mußte. In der That erschien denn auch fast genau nach 36 Stunden in Berlin auf dem Wege über Ostindien wieder eine der ersten Schwankung ganz entsprechende Welle, nur mit etwas verminderter Stärke. Die entsprechende Wiederkehr der über Amerika hierher gelangten Wirkung findet dagegen schon nach etwa 34—35 Stunden statt, was sich in Übereinstimmung mit der an andern Orten beobachteten Folge der Erscheinungen daraus erklärt, daß auf dem Wege von Westen nach Osten die Fortpflanzung deshalb eine raschere ist, weil in den höhern Schichten der Atmosphäre im großen und ganzen eine Strömung von Westen nach Osten vorwiegt. Zum drittenmal erfolgte dann die Ankunft der Wellenbewegung über Ostindien in Berlin etwa 37 Stunden nach der zweiten Ankunft. Von da ab ist bei abnehmender Stärke der Schwankungen die Wiederkehr der einzelnen Wellen nicht mehr

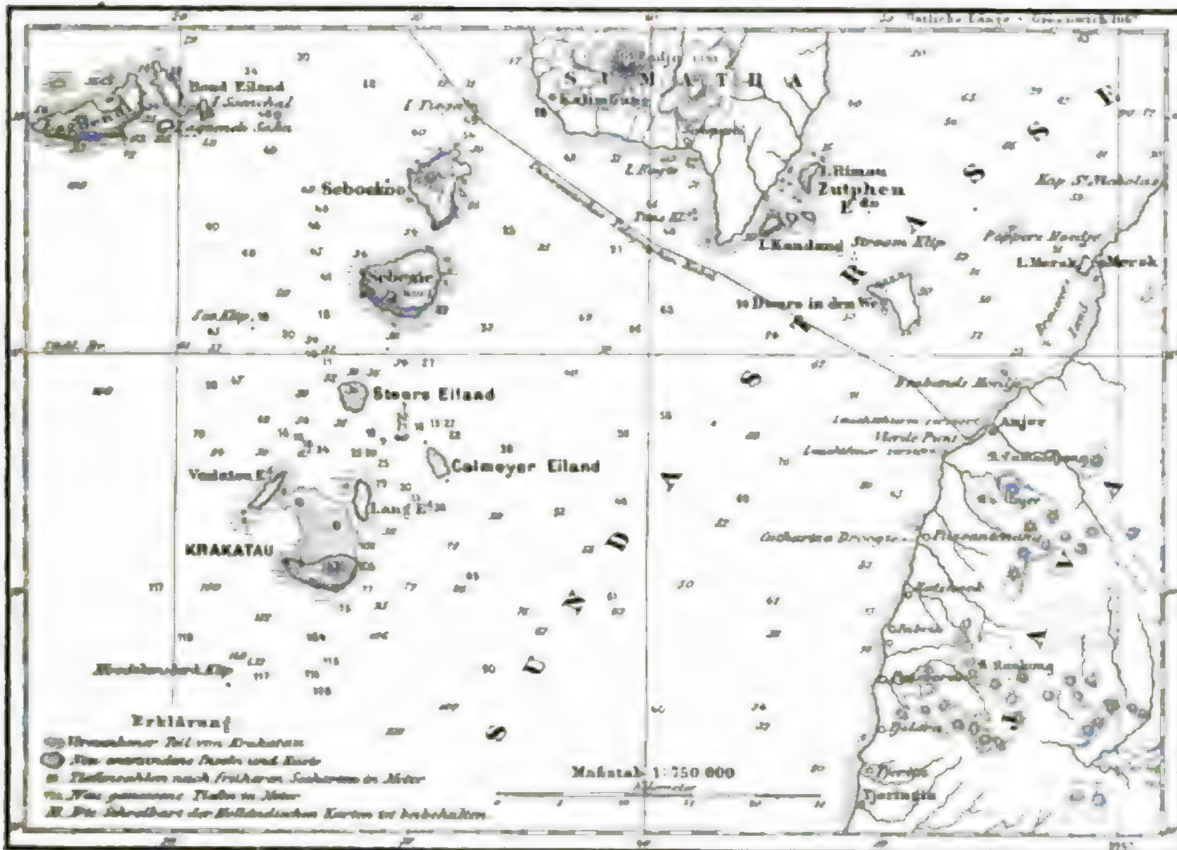
mit Sicherheit zu verfolgen, doch blieben bis zum 4. September immer noch sehr kleine Schwankungen ungewöhnlichen Verlaufes in den Aufzeichnungen sichtbar." (Nach J. Hann.)

Durch Vergleichung der Erscheinungen an verschiedenen Punkten in Europa konnte auch nachgewiesen werden, daß in der That die eine Welle von Osten nach Westen, die andre von Westen nach Osten fortschritt. Strachey legte seinen Berechnungen die Zeitangaben über das Eintreten der Erscheinungen an verschiedenen Orten in Europa zu Grunde und fand aus der so ermittelten Geschwindigkeit, daß nach der ostindischen Welle die Explosion des Krakatau um 9 Uhr 32 Minuten, nach der amerikanischen Welle um 9 Uhr 13 Minuten, im Mittel also um 9 Uhr 24 Minuten, stattgefunden haben sollte, während der holländische Geolog Verbeeck nach seinen Beobachtungen auf Java 10 Uhr 5 Minuten für den wahrscheinlichen Zeitpunkt der Katastrophe hält.

Ungeheuer groß war der Flächenraum, über welchen die Explosionen des Krakatau gehört wurden, und es tritt dabei die merkwürdige Erscheinung auf, daß sie in einiger Entfernung stärker vernommen wurden als ganz in der Nähe. Dieser Fall steht nicht vereinzelt da, doch ist die Erklärung noch keine ganz ausreichende; wahrscheinlich ist im engen Umkreise des Vulkanes der sehr dichte Fall der Asche der Fortpflanzung der Schallwellen hinderlich. Die entlegensten Punkte, an welchen die Detonationen wahrgenommen wurden, sind Ceylon, die Andamanen, Saigon in Kochinchina, die Philippinen, die Geelvinkbai auf Neuguinea und Perth im südwestlichen Australien. Aus dem Süden hat man keine Nachrichten, da hier der offene Ozean liegt. Der Schall verbreitete sich auf eine Entfernung von etwa 3400 km, über einen Umkreis, der ein Fünfzehntel der ganzen Erdoberfläche beträgt. Denken wir uns den Mittelpunkt der Eruption nach Wien verlegt, so wäre der Donner nicht nur in ganz Europa vernehmbar gewesen, sondern im östlichsten Grönland, im südlichen Spitzbergen, im südlichen Teile von Nowaja Semlja, im ganzen Uralgebirge, am östlichen Ufer des Aralsees, an der südöstlichsten Ecke des Kaspischen Meeres, an der Mündung des Euphrat in den Persischen Meerbusen, im nördlichen Drittel des Roten Meeres, im größern Teile der Sahara und auf der Insel Madeira. Kein andrer Ausbruch, von dem die Geschichte weiß, kann eine auch nur annähernd ähnliche Verbreitung der Schallphänomene aufweisen. (S. das Kärtchen auf S. 278.)

Die Auswürflinge des Krakatau bestehen der Hauptsache nach aus Bimsstein und feiner Asche. Ihre Masse ist eine ganz kolossale; Verbeeck schätzt dieselbe auf mindestens 18 ckm, wovon etwa 12 in einem Umkreise von 12 km um den Vulkan niederfielen und hier eine 20—40 m dicke Lage bildeten. Da die Meerestiefe gegen Norden bis zur Insel Sebesie vor dem Ausbruche etwa 36 m im Durchschnitte betrug, so ist diese Region für größere Schiffe nicht mehr befahrbar, und wie die Karte auf S. 233 zeigt, hat hier nicht nur das Relief des Meeresbodens große Veränderungen erlitten, sondern es haben auch bedeutende Neubildungen von Land stattgefunden: an der Ruine des Krakatau wurden, wie oben erwähnt, 5 qkm neu angeschüttet; die nahegelegenen Inseln Lang Eiland und Verlaaten Eiland sind, erstere um 0,3, letztere um mehr als 8 qkm, vergrößert, während eine sehr kleine Insel in der Nähe, das Poolsche Hoedje, verschwunden ist, vermutlich von der großen Woge weggespült. Dafür hatten sich zwei neue Inseln, Steers Eiland und Calmeyer Eiland, gebildet, die eine 3, die andre etwas über 4 qkm groß, welche nur wenige Meter über den Meeresspiegel emporragten; doch auch sie sind vom Wasser schon wieder verschlungen worden. Als Verbeeck im Oktober 1883 die Gegend besuchte, dampften die neugebildeten Inseln noch, jedoch nur infolge der Wärme des aufgeschütteten Materiales; von selbständigen Eruptionspunkten war keine Spur vorhanden, und die anfangs verbreitete Nachricht, daß sich hier 16 neue Vulkankegel gebildet haben, beruht lediglich auf einer Mißdeutung des Dampfes, der diesen warmen Aufschüttungen entstieg. Ungeheure Massen von

Bimsstein schwammen auf dem Meere und bildeten förmliche schwimmende Inseln, die ein paar Meter über den Wasserspiegel hervorragten. Namentlich gegen Sumatra zu, am Eingange und im Innern der Lampong- und Semangka-Bai, waren diese schwimmenden Bänke so dicht, daß selbst starke Dampfer sie nur mit Aufbietung der vollen Dampfkraft zu durchbrechen vermochten und dabei durch Beschädigungen der Maschinen in schlimme Lage gerieten; ja, ein holländisches Kriegsschiff, das, nur für sechs Tage verproviantiert, in diese Bimssteinbänke eingedrungen war, schwebte eine Zeitlang in Gefahr, eingeschlossen zu bleiben und in Hungersnot zu geraten. Die lose Asche verbreitete sich über einen Bezirk, dessen Ausdehnung auf 750,000 km, also bedeutend größer als das Deutsche Reich, geschätzt wird.



Karte von Krakatau und Umgebung. Vgl. Text, S. 232.

Ehe wir den Krakatau verlassen, müssen wir noch eine höchst merkwürdige Erscheinung besprechen, welche von sehr vielen Naturforschern diesem Ausbruche zugeschrieben wird. Sehr bald nach dem Ausbruche, noch in den letzten Tagen des Augustes, bemerkte man zuerst in der Nähe des Herdes, dann in größerer Entfernung, daß die Sonne eine sehr eigentümliche, in der Regel grüne Farbe annahm. Die Erscheinung zeigte sich z. B. auf Ceylon, etwas später auf Mauritius, dann an der Westküste von Afrika, endlich in Brasilien und Zentralamerika und in ähnlicher Weise an vielen andern Orten. Man schrieb dieselbe fein verteilten Stäubchen vulkanischer Asche zu, welche in den höchsten Regionen der Atmosphäre flottieren. Gegen Ende November 1883 traten in ganz Europa jene herrlichen Dämmerungserscheinungen auf, welche allgemeines Aufsehen und Bewunderung erregten. Nach Sonnenuntergang war das Firmament mit tiefer Purpurglut übergossen, welche außerordentlich lange anhielt und spät der vollen Finsternis Platz machte. Bald wurde es offenbar, daß es sich nicht um eine lokale Erscheinung handle; aus allen Weltteilen trafen Nachrichten ein, welche dasselbe berichteten, nur mit dem Unterschiede, daß in vielen Gegenden dieses „Nebelglühen", wie man es unrichtig nannte, schon weit früher aufgetreten war als bei

uns, nirgends aber vor dem Ausbruche des Krakatau. Solche Dämmerungserscheinungen setzen ein in der Atmosphäre schwebendes lichtbrechendes Medium voraus. Aus der ganz ungewöhnlichen Stärke und allgemeinen Verbreitung konnte geschlossen werden, daß man es nicht mit der Brechung an gewöhnlichen Nebel- oder Wolkenmassen zu thun habe, wie es bei dem normalen Morgen- und Abendrote der Fall ist. Aus der Beschaffenheit der Phänomene konnte überdies gefolgert werden, daß die lichtbrechende Schicht sich in einer Höhe von 60,000 bis 70,000 m (von einer Seite wird 18,000 m angegeben) befinden müsse, also in einer Höhe weit über der Region, in welcher sich unsre alltäglichen meteorologischen Prozesse abspielen. Die Ansichten waren sehr geteilt in Beziehung auf die Frage, welcher Art das Medium sei, welches in diesen gewaltigen Höhen die Dämmerungserscheinungen hervorgerufen. Die einen nahmen an, daß unsre Erde entweder eine kosmische Nebelmasse, oder einen Schwarm feinster Eisnadeln, oder endlich eine Masse von Meteorstaub passiere, jedenfalls also, daß eine aus dem Weltraume stammende Beeinflussung unsrer Atmosphäre stattgefunden habe. Auf der andern Seite dagegen steht die von Jesse und Lockyer aufgestellte Ansicht, daß bei der furchtbaren Explosion des Krakatau die feinsten Aschenteile bis zur Höhe von 60,000 m emporgeschleudert worden seien und hier, von verschiedenen Luftströmungen getrieben, sich Monate hindurch schwebend erhalten hätten, ehe sie zur Erde niederfielen.

Um die Zeit der auffallenden Dämmerungserscheinungen fanden in Europa an einigen Punkten Staubfälle statt, während der Boden von Schnee bedeckt war. Man untersuchte solche Staubproben und fand darin winzige mikroskopische Kriställchen, wie sie in der Krakatau-Asche vorhanden sind. Man glaubte daraus schließen zu dürfen, daß hier wirklich Krakatau-Asche vorliege, die aus der Höhe herabgefallen sei; allein die Übereinstimmung ist keine volle, und namentlich scheinen die sehr charakteristischen Kügelchen von vulkanischem Glase zu fehlen, so daß also auch hier keine sichere Auskunft zu haben ist. Man forschte nun nach frühern Erscheinungen ähnlicher Art; im Jahre 1831 hatten sich in Europa ähnliche Dämmerungserscheinungen gezeigt, welche Anfang August begannen und bis gegen Ende September anhielten, nachdem im Juli die untermeerischen Ausbrüche begonnen hatten, die zur Bildung der Insel Julia führten (s. S. 196). Ähnliche Dämmerungserscheinungen im Herbste 1864, welche W. v. Bezold geschildert hat, traten nach einer submarinen Eruption zwischen Sizilien und Pantellaria ein. Diese beiden Fälle stimmen nun allerdings recht gut überein, aber wir müssen uns daran erinnern, daß im Durchschnitte doch jährlich mindestens zehn Vulkane heftige Ausbrüche haben und man daher eine sehr häufige Wiederkehr jener prächtigen Färbungen am Himmel erwarten müßte. Vor allem aber hätten sie nach jenen Eruptionen erscheinen müssen, welche durch die unerhörte Menge der ausgeworfenen Asche ausgezeichnet sind, wie die des Temboro und des Conseguina.

Es wäre dies wohl ein entscheidendes Argument gegen die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Vulkanausbrüchen und Dämmerungserscheinungen, wenn nicht ein eigentümliches Verhältnis hervorträte, das bisher noch nicht berücksichtigt ist. Submarine Ausbrüche sind sehr viel seltener als solche auf trocknem Lande, aber trotzdem gehören die beiden Eruptionen von 1831 und 1864, die von starkem „Nebelglühen" gefolgt waren, in die erstere Kategorie, und die Katastrophe des Krakatau reiht sich denselben insofern an, als nach dem Einsturze des Kraters der volle Wogenschwall des Meeres in die vulkanische Esse strömte. Es liegt nahe, daraus zu schließen, daß gerade die dabei entstehenden heftigen Wasserdampfexplosionen es sind, welche einen wesentlichen Anteil an der sehr feinen Zerstäubung des Materiales und an seiner Emporschleuderung in die höchsten Regionen nehmen. Es ist das eine Möglichkeit, dem Einwurfe zu begegnen, daß viele der bedeutendsten und aschenreichsten Ausbrüche keine Dämmerungserscheinungen im Gefolge hatten; ein Beweis für die Richtigkeit der Hypothese ist damit nicht gegeben, im Gegenteile sprechen noch manche

gewichtige Gründe gegen dieselbe. Daß feste vulkanische Teilchen von Ende August bis in den Januar in ungeheurer Menge in den höchsten Teilen der Atmosphäre schwebend geblieben seien, ohne herabzufallen, ist sehr schwer glaublich. Ebensowenig ist es wahrscheinlich, daß so kolossale Massen von Asche in eine Höhe von 60 bis 70 km emporgeschleudert worden seien; denn um über die ganze Erde hin solche Dämmerungserscheinungen hervorzurufen, wären mehrere Kubikkilometer Substanz nötig. Endlich muß es auch sehr auffallen, daß z. B. auf den entlegenen Sandwichinseln und in Südamerika das Abendglühen früher gesehen wurde als in den dem Krakatau viel näher gelegenen indischen Stationen. Dies sind schwer wiegende Einwände, die noch von keiner Seite entkräftet worden sind, die aber doch vielleicht nicht ausreichen, um die Hypothese vollständig zu widerlegen. Noch sind die Daten über den Krakatau-Ausbruch nicht gänzlich bekannt oder durchgearbeitet, und vielleicht wird eine Entscheidung möglich sein, wenn dies einmal geschehen sein wird.

Java ist klassischer Boden für die Kenntnis der Eruptiverscheinungen. Diese Insel hat auf einer Erstreckung von nicht ganz 150 geogr. Meilen wohl über 100 Vulkane, von denen aber kaum die Hälfte näher bekannt ist; nirgends auf der Welt drängen sich dieselben in so ungeheurer Menge auf verhältnismäßig so kleinem Raume zusammen. Horner und Horsfield haben sich um die Kenntnis derselben verdient gemacht; vor allen aber verdanken wir Junghuhn ein treffliches Werk, die Frucht langjähriger Untersuchungen an Ort und Stelle, durch welches diese Vulkane zu den bestbekannten außerhalb Europas gehören.

Die javanischen Feuerberge stehen nicht unmittelbar an der Küste, sondern so ziemlich in der Mittellinie der allerdings nicht sehr breiten Insel, so daß kaum der eine oder andre 10 Meilen vom Meere sich befindet. Die Anordnung ist zwar der Hauptsache nach eine reihenförmige, nach einer der Längenerstreckung des Landes von Westen nach Osten folgenden Linie; allein im einzelnen zeigt sich eine bemerkenswerte Modifikation, die in derselben Weise bei den Vulkanen Zentralamerikas wiederkehrt: es treten nämlich mehrfach kurze, die Hauptlinie kreuzende nordsüdliche Querreihen auf, von denen jede einige Krater trägt. Eine andre sehr auffallende Eigenschaft der javanischen Vulkane ist die, daß ihre Kegel auf der Außenseite von regelmäßig verteilten, geradlinig nach abwärts verlaufenden Schluchten durchfurcht sind, welche den Bergen in geringer Entfernung ein gestreiftes Aussehen verleihen. „Obgleich die Oberfläche eines 3343 m hohen Vulkanes, des Gunung Sumbing, aus einiger Entfernung gesehen, wie eine ununterbrochene geneigte Fläche erscheint, so findet man doch bei näherer Betrachtung, daß sie aus lauter einzelnen schmalen Längsrücken oder Rippen besteht, die sich nach unten immer mehr spalten und breiter werden. Sie ziehen vom Gipfel des Vulkanes oder noch öfter von einer Höhe, die einige Hundert Fuß unterhalb des Gipfels liegt, nach allen Seiten wie die Strahlen eines Regenschirmes divergierend, zum Fuße des Berges herab.“ (Junghuhn.) Am Gunung Sumbing sind oberhalb der Region von 9000 Fuß nur etwa 10 solche Rippen vorhanden, in 8500 Fuß Höhe 32, in 5500 Fuß Höhe 72, in 3000 Fuß Höhe über 95; dabei nimmt der Neigungswinkel der Gehänge von 37° zu 25° und $11^1/_2$° ab. Die Entstehung wird von Junghuhn gewiß mit Recht der Wirkung des Wassers, der erodierenden Kraft der Bäche zugeschrieben, die nach Regengüssen von den Seiten der Berge herabstürzen, und die Erscheinung scheint ganz mit dem Auftreten der kleinen Barancos auf Palma (Kanaren) übereinzustimmen.

Bemerkenswert ist die große Armut an Lavaströmen, die so weit geht, daß man früher deren vollständiges Fehlen annahm. Junghuhn hat nun allerdings einige solche nachgewiesen, aber trotzdem bleibt ihre Zahl sehr gering; häufiger scheinen sogenannte Steinströme vorzukommen, aus lauter einzelnen, meist eckigen Trümmern bestehend, welche nacheinander austreten und am Abhange herabstürzen.

Die Höhe der meisten Vulkane Javas liegt zwischen 2000 und 3800 m; der höchste unter ihnen, der Gunung Semeru, mißt etwa 3740 m, einige andre kommen ihm ziemlich nahe; durch die kolossale, fast 1 geogr. Meile im Durchmesser betragende Weite seines Kraters ist der Gunung Tenger ausgezeichnet. Die Zahl der thätigen Feuerberge auf Java beläuft sich auf etwa 30, unter denen Gunung Guntur und Gunung Lamongung fast ununterbrochen in Aktion sind. Abgesehen von der furchtbaren Katastrophe im August 1883, ereignete sich weitaus die stärkste Eruption, über welche Berichte oder Erinnerungen vorhanden sind, im Jahre 1822 am Gunung Gelungung, der seine Umgebung verwüstete, nachdem er bis dahin für vollständig erloschen gegolten hatte. Der Bericht von Junghuhn lautet in etwas gekürzter Form folgendermaßen:

„Der Berg steht in einem früher reich bebauten und bevölkerten Lande, in einer fruchtbaren Ebene, weit und breit mit Reisfeldern bedeckt, zwischen denen Hunderte kleiner Dörfer, von Kokospalmen umgeben, zerstreut lagen. Der 8. Oktober war ein sehr heißer Tag, die ganze Bevölkerung lag um Mittag im Schlafe, als um 1 Uhr ein donnerndes, brüllendes Geräusch ertönte und die Erde heftig bebte. Die Einwohner flohen aus ihren Häusern, und Schrecken bemächtigte sich ihrer, als sie bemerkten, daß aus dem Krater des Gelungung eine schwarze Rauchsäule von ungeheurem Umfange hervorschoß, die sich mit Blitzesschnelle ausbreitete, den ganzen Himmel überzog und im Nu den noch eben hell glänzenden Sonnenschein in tiefste Nacht verwandelte. Die Menschen flohen verwirrt und unsicher durcheinander; wenige Sekunden später, und ein paar Tausend von ihnen waren begraben. Sie wurden teils bedeckt vom Schlamme, der, vom Krater ausgeschleudert, in ungeheuern Massen aus der Luft herabfiel, teils kamen sie in den Fluten von heißem Wasser um, das, mit Schlamm und Steintrümmern gemengt, dem Krater in ungeheurer Menge entquoll und 2½ Meilen im Umkreise alles überströmte, alle Dörfer, Felder und Wälder vernichtete und in einen dampfenden Pfuhl von bläulichgrauer Farbe verwandelte, der mit Kadavern von Menschen und Tieren, mit Häusertrümmern und zerbrochenen Baumstämmen übersäet war. Wild brachen durch diese Schlamm- und Trümmermassen die Bäche Tschikunir und Tschiwulan hindurch; sie waren zu tobenden Fluten angeschwollen, die alles auf ihrer Bahn zerstörten, alle Brücken wegrissen und weite Überschwemmungen verursachten, in denen noch eine Menge armer Flüchtlinge, die sich schon gerettet glaubten, das Leben verloren. Mit Menschen- und Tierleichen aller Art beladen, wälzten sie ihr schlammiges, kochendes Wasser der Südküste zu, deren Bewohner die Flucht zu den nächsten Hügeln ergriffen. Nach drei Stunden, um 4 Uhr nachmittags, ließ die Heftigkeit des Ausbruches nach, um 5 Uhr war alles vorüber; zahlreiche Dörfer samt ihren Bewohnern lagen unter vulkanischem Schlamme und Steintrümmern begraben, so daß man keine Spur mehr von ihnen sah und das Terrain südöstlich vom Berge durch Auswurfsmassen 30—40 Fuß hoch erhöht war. Der schönste Abend beleuchtete dieses Schauspiel.

„Doch noch hatte der Vulkan seine Wut nicht ganz entladen, und ein zweiter Ausbruch, noch zerstörender in seinen Wirkungen als der erste und schrecklicher, da er mitten in der Nacht stattfand, trat vier Tage später ein und bedrohte das Land mit vollständiger Vernichtung. Um 7 Uhr abends, am 12. Oktober, fing der Gelungung unter heftigen Erderschütterungen wieder an, zu brüllen und ungeheure Massen von heißem Schlamme und Wasser auszuspeien, die alles, was beim vorigen Ausbruche unversehrt geblieben war, mit ihren Fluten überströmten und das bereits erhöhte Terrain noch höher auftürmten. Geängstigt flohen die Einwohner, die sich plötzlich rings von den Fluten umtobt sahen, auf einige kleine Hügel, die sich in der Nähe ihrer Dörfer 60—100 Fuß hoch erhoben, und auf denen sich unter duftenden Kambodschabäumen die wohlunterhaltenen heiligen Gräber ihrer Eltern und Voreltern befanden. Dort hofften sie der Vernichtung zu

entgehen, ohne zu bedenken, daß die Hügel, auf denen sie standen, ebenfalls vulkanische Auswurfsmassen seien, aufgetürmt vielleicht auf den Gräbern eines noch ältern Geschlechtes. Immer furchtbarer wälzten sich die dampfend heißen Schlammmassen heran; laut krachend brachen sich die mitgerissenen Felsentrümmer und Baumstämme am Abhange der Hügel, immer höher stiegen die Fluten, enger wurde der Raum, auf dem viele Hunderte unglücklicher Menschen die Hände zum Himmel erhoben. Bald schwoll der Schlamm bis zu den Gräbern selbst empor, einige Hügel wurden überschüttet, andre brachen zusammen unter dem Drucke des nachströmenden Schlammes, über 2000 Menschen kamen so in einer Nacht um.

„Neue Hügel waren entstanden, ein ganz neues Terrain war gebildet worden, aus dessen Oberfläche nur hier und da der Gipfel einer stehen gebliebenen Kokospalme hervorragte. Der frühere Boden war um 40—50 Fuß tiefer, und die wenigen Eingebornen, die sich aus der Katastrophe dieser Nacht gerettet hatten, wußten die Stelle ihrer untergegangenen Dörfer nicht mehr zu erkennen. Einen Monat später war es wegen Schlammmassen, Aschenhaufen und Steintrümmern noch nicht möglich, sich dem Berge zu nahen. Alle Vegetation war nicht nur in der Kraterspalte und auf den benachbarten Abhängen der Bergkette, sondern auch in dem Flachlande 10—15 Paals weit in der Runde bis auf den letzten Grashalm vernichtet. Alles war von frischem Schlamme überströmt, schwarz und öde."

Was diesen furchtbaren Ausbruch allen andern gegenüber, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, ganz besonders auszeichnet, ist die Beschaffenheit des ausgeworfenen Materiales, welches aus Schlamm und von diesem umhüllten Steinen und Felstrümmern bestand. Junghuhn zeigt in der klarsten Weise, daß diese Materialien nicht als solche aus der Tiefe zu Tage gefördert worden sein können, sondern daß der Gelungung sicher vor diesem Ausbruche einen großen See im Innern seines Kraters hatte, und daß der Schlamm sich lediglich durch die Mengung von emporgeworfener trockner Asche mit dem Wasser des Kratersees bildete. Es erklärt sich daraus auch, daß zum Schlusse der Eruption trockne Asche niederfiel; offenbar war um diese Zeit der Wasservorrat des Sees schon ausgeschleudert und erschöpft, die Asche konnte nicht mehr in Schlamm verwandelt werden und fiel als solche nieder.

Östlich von Java folgen die beiden durch ihre interessanten tiergeographischen Verhältnisse ausgezeichneten Inseln Bali und Lombok, beide mit thätigen Vulkanen, und ihnen reiht sich weiter Sumbawa mit dem furchtbaren Feuerberge Temboro an, dessen Ausbruch im Jahre 1815 zu den merkwürdigsten und heftigsten, leider aber auch zu den verderblichsten gehört, die wir überhaupt kennen, und neben welchem die bedeutendsten Paroxysmen des Vesuvs und Ätna recht harmlos und geringfügig erscheinen. Junghuhn schildert den Vorgang folgendermaßen:

„Unter allen Vulkanen der ganzen Erde ist keiner, der einen so großen und schrecklichen Ausbruch gehabt hat wie dieser, der im Jahre 1815 den ganzen Indischen Archipel erschütterte, einen großen Teil desselben mit Asche bedeckte, und dessen furchtbarer Donner auf 260 Meilen in der Runde gehört wurde; dieser Berg steht, soviel mir bekannt ist, ganz isoliert, ohne mit irgend einem andern verbunden zu sein, an der Nordküste der Insel Sumbawa. Es wird berichtet, daß durch den Ausbruch im Jahre 1815 der ganze Gipfel des Berges zertrümmert und viel niedriger geworden ist.

„Am 5. April begann der Ausbruch mit Explosionen, welche in Pausen von je einer Viertelstunde wiederkehrten; am 10. April erreichte er seinen Höhepunkt: eine gewaltige Rauchsäule stieg aus dem Krater auf, und der ganze Berg war wie mit einem Feuerstrome (glühende Lavatrümmer?) bedeckt, doch hüllte er sich bald wieder in dunkle Rauch- und Aschenwolken. Die Detonationen waren so heftig, daß auf Sumbawa selbst die Mauern der Häuser sprangen, daß in Makassar, in 52 Meilen geradliniger Entfernung, der englische Kreuzer Benares mit Truppen zur Rekognoszierung ausgeschickt wurde, weil man die

Schläge für schweres Geschützfeuer hielt, ... ja daß sie zu Mokomoko an der Südwestküste von Sumatra, in 260 Meilen Entfernung, wie Kanonendonner gehört wurden. Der Detonationskreis rings um den Gunung Temboro umfaßte ganz Java, Celebes, Ternate, alle ostjavanischen und molukkischen Inseln bis Neuguinea, den größten Teil von Sumatra nebst dem nordwestlichen Teile von Australien; die vulkanische Kanonade war gleichzeitig hörbar, und die Erschütterungen wurden gefühlt auf einem Raume von 450 Meilen größter Ausdehnung von Osten nach Westen und nicht viel weniger von Norden nach Süden, also so weit wie von Suez nach Petersburg oder vom Vesuv bis zum Nordkap (s. die Karte, S. 278). Die Detonationen fuhren mit den begleitenden Erdbeben tagelang fort, den größten Teil des Archipels zu erschüttern; auch das Meer wurde bewegt; in der Bucht von Bima erhob es sich am 10. April vormittags bei vollständiger Windstille zu einer ungeheuern Woge; es stieg 12 Fuß höher als zur Zeit der höchsten Springflut; zwar dauerte die Flut nur drei Minuten lang, aber sie spülte Häuser und Bäume weg und warf große Fahrzeuge weit auf das Land, wobei auch ein früher versunkenes Schiff des Königs trocken wieder aufs Land gesetzt wurde. Durch die übermäßige Erhitzung einzelner Lufträume durch die geschmolzene Lava und die Glut in dem Krater wurde auch das Gleichgewicht der Atmosphäre gestört, und an demselben verhängnisvollen Tage, an welchem die unterirdischen Detonationen ihr Maximum erreicht zu haben schienen, erhob sich vormittags um 9 Uhr im östlichen Teile des Reiches Sangar, das an Temboro grenzt, ein Wirbelsturm, der ganze Dörfer und Wälder umblies, die stärksten Bäume entwurzelte, Häuser, Menschen, Vieh, kurz alles, was er antraf, emporhob und wie Strohhalme in der Luft herumwirbelte. Er wütete eine Stunde lang, dann ließ er viele von den emporgehobenen Gegenständen ins Meer fallen, in dem man noch Monate, sogar Jahre später eine Menge Baumstämme umhertreiben sah.

„Diese Erscheinungen waren die Begleiter des Emporquellens von vielleicht geschmolzenen, jedenfalls aber glühenden Auswurfstoffen, die vorherrschend aus bimssteinartigen Lavaschlacken, Bimsstein und aus einer sehr feinen, grauen, lockern, aber schweren Asche bestanden; ob Lava ausgeworfen wurde, läßt sich nicht mit Bestimmtheit ermitteln. Das ganze Meer rings um Sumbawa bis in die Bucht von Bima, besonders aber westwärts vom Vulkane, war mit Bimsstein bedeckt, der, mit Baumstämmen untermengt, als eine 2 Fuß dicke Schicht auf dem Wasser schwamm, so daß die Schiffe sich nur mit Mühe durchzwängen konnten; außer Bimsstein war es Asche, die der Vulkan ausspie, und die den größten Teil von Sumbawa, namentlich die dem Vulkane zunächst liegenden Reiche Temboro, Pekat, Sangar und einen großen Teil von Dompo und Bima, viele Fuß hoch überschüttete, dermaßen, daß 15 Meilen östlich die Wohnung des Residenten und andre Häuser zu Bima unter der Last zusammenbrachen, daß die Zerstörung dieser vorher blühenden Reiche vollendet und eine grüne, fruchtbare Landschaft in eine graue, einförmige, tote Wüste verwandelt wurde; auf Sumbawa allein kamen 12,000 Menschen ums Leben.

„Die Asche stieg in so ungeheurer Menge in die höchsten Luftregionen, daß auf der in ihrer Mitte 22 Meilen (vom Temboro) entfernten Insel Lombok noch eine 2 Fuß dicke Schicht niederfiel, daß teils unmittelbar infolgedessen, teils an der dadurch entstandenen Hungersnot auf dieser Insel 44,000 Menschen zu Grunde gingen. Zu Banjuwangi, in 52 Meilen Entfernung, lag sie noch 8 Zoll dick, und hier wie in dem 80 Meilen vom Vulkane entfernten Gresik wurde die Sonne drei Tage lang verdunkelt, und es herrschte eine Finsternis stärker als in sternloser Nacht; erst am 14. April nachmittags ging die Sonne für Banjuwangi wieder auf. Ja, selbst zu Solo und Dschogdschokerta, 112 Meilen vom Mittelpunkte, wurde der helle Tag zur tiefsten Nacht, und zu Tscheribon, 140 Meilen entfernt, war die Sonne von düsterm Rauche verhüllt; die Asche flog bis Batavia und Benkulen und bis Makassar auf Celebes. Es wurde ein Raum der Erdoberfläche verfinstert größer als ganz

Deutschland, und die Asche flog so weit wie vom Vesuv bis an die Ostsee nach Königsberg. Durch diese Vorgänge war das Meer meilenweit mit Bimsstein bedeckt, das Land mit Bimsstein und Asche überschüttet, die Menschensitze fast ganz zerstört; was Leben hatte und nicht in der Eruption umgekommen oder durch den Wirbelsturm vernichtet worden war, das ging nun durch Hunger und Seuchen zu Grunde. Sogar die Tochter des Königs von Sangar starb durch Hunger; vom Reiche Dompo blieben nur 40, von den Königreichen Pekal und Temboro nur 3, von den Bewohnern der Stadt Sumbawa nur 26 am Leben; von den meisten Inseln auf der einen Seite bis Java, auf der andern bis Timor fehlen alle Nachrichten, weil sie nicht von Europäern bewohnt sind; man kann aber die Verluste einigermaßen schätzen, wenn man hört, daß außer den 12,000 Menschen des schlecht bevölkerten Sumbawa allein auf Lombok mit seiner dichtern Bevölkerung 44,000 Menschen zu Grunde gingen."

Die Eruptionen des Gunung Gelungung auf Java und des Temboro auf Sumbawa besaßen einen so furchtbaren Grad von Intensität und haben so ungeheure Massen von Material gefördert, wie sie bei den europäischen Vulkanen (von Island abgesehen) glücklicherweise nicht vorkommen oder wenigstens in historischer Zeit nicht vorgekommen sind. Die vom Temboro ausgeworfenen Aschen- und Schlackenmassen wurden von Junghuhn auf mehr als 300 ckm geschätzt (nach Verbeek nur 150—200 ckm). Solche Beispiele geben uns erst einen Begriff von der Gewalt dieser Phänomene und zeigen, daß es gewiß keine Übertreibung ist, wenn man die Entstehung gewaltigster Berge lediglich der Aufschüttung zuschreibt.

Die weitere Fortsetzung der Vulkanreihe erstreckt sich über Flores und einige kleinere Inseln mit thätigen Vulkanen nach Timor, das deren nur einen aufzuweisen hat; weiterhin schließen sich noch einige thätige Inseln gegen Osten an, so daß man die Linie fast bis zur Insel Timorlaut verfolgen kann. Der Endpunkt liegt hier ungefähr bei 8° südlicher Breite und 130° östlicher Länge von Greenwich, während der Beginn an der Küste von Arrakan auf der Insel Ramai bei 19° 21′ nördlicher Breite und 93° 30′ östlicher Länge zu suchen ist.

Einige isolierte Vulkane, die wir auf keine bestimmten Reihen beziehen können, treten noch im Sundameere auf, z. B. ein Kegel im nördlichen Borneo, der vermutlich bei näherer Durchforschung dieser großen und noch wenig bekannten Insel noch manchen Kollegen finden wird. Eine selbständige Reihe dürften die elf teilweise noch thätigen Vulkane auf der nördlichen Halbinsel von Celebes bilden. Eine große und sehr bedeutende Linie finden wir dann wieder in den Eruptionspunkten der Molukken, der Philippinen und der zwischen beiden liegenden Inseln, welche alle eine große Anzahl teils thätiger, teils erloschener Vulkane tragen. Weiterhin nach Norden setzt sich diese Reihe nach der Insel Formosa fort, von deren vier Vulkanen drei im Zustande der Eruption beobachtet sind; auch an den Küsten der Insel haben schon mehrfach submarine Ausbrüche stattgefunden.

Die nördlich folgenden Inseln der Ostküste Asiens bis hinauf zur Beringsstraße gehören drei verschiedenen Bogenlinien an, welche von Süden nach Norden an Größe zunehmen; die südlichste dieser Reihen umfaßt die Liukiu-Inseln und die Südinsel von Japan sowie einen Küstenvulkan an der Küste von Korea, die zweite die übrigen Inseln von Japan mit Ausnahme des nordöstlichsten Endes der Nordinsel Jesso, die nördlichste Reihe endlich die Nordostecke von Jesso, die Kurilen und Kamtschatka.

Über die Liukiu-Inseln ist nicht sehr viel bekannt; mehrere von ihnen haben thätige Vulkane, keinenfalls aber bestehen sie ganz aus Eruptivgesteinen, da auch das Vorkommen von mesozoischen, vielleicht jurassischen Meeresbildungen, kristallinischem Schiefer und jungem Korallenkalke von dort bekannt ist. Die Vulkane scheinen sich der Mehrzahl nach auf den kleinern, den innern Teil der Kette bildenden Inseln zu befinden.

Japan hatte und hat eine überaus reiche vulkanische Thätigkeit. Auf einem Gerüste von altkristallinischen Massengesteinen und Sedimentablagerungen erheben sich zahlreiche teils erloschene, teils noch thätige Feuerberge, deren Zahl allerdings sehr verschieden angegeben wird. Das neueste, von E. Naumann herrührende Werk über diesen Gegenstand gibt deren 17 aktive und 31 erloschene an, wovon jedoch 5 nicht auf die japanische Reihe, sondern auf eine abzweigende Linie fallen, welche gegen die Boninunseln und die Marianen gerichtet ist. Die große Mehrzahl verteilt sich auf drei der Hauptinseln in der Weise, daß Nippon weit über die Hälfte trägt; Jesso besitzt deren nur 11, 6 befinden sich auf Kiusiu, während Shikok ganz frei ist, und ebenso verhält es sich mit der Insel Sachalin, die zwar zum russischen Reiche gehört, aber geographisch die Fortsetzung Japans bildet.

Es würde zu weit führen, zahlreiche Einzelheiten über die Beschaffenheit der japanischen Vulkane hier anzuführen; die bekanntesten unter ihnen sind erstens der Asamayama, der 864 den ersten bekannten, 1783 einen furchtbar verwüstenden Ausbruch mit kolossalem Lavaergusse hatte und seitdem fortwährend thätig ist, und zweitens der 3757 m hohe Fusinoyama mit einem kreisförmigen Krater von 400 bis 500 m Durchmesser und 167 m Tiefe. Seit dem Ende des 8. Jahrhunderts sind zahlreiche Eruptionen des Fusinoyama, teilweise von großer Bedeutung, bekannt, unter denen namentlich diejenige von 1707 von mächtiger Wirkung war. Das Buch „Okubokaki" erzählt darüber folgendes:

„Am 23. Tage des 11. Monates im 4. Hoei (16. Dezember 1707) entstiegen dem Krater große Rauchmassen, und der Berg warf glühende Asche und Lava auf einen Flächenraum von 20 Quadrat-Ri aus. Der Aschenregen hielt bis in den 12. Monat hinein an. Der Fluß Sanosekigawa und der 60 Cho große See bei Gotenba, Futabashi, Fukasawa und Näshita wurden mit Asche ausgefüllt, so daß man kein Wasser mehr darin fand. Bei dem Dorfe Nishugimura lag die Asche 7 Fuß hoch und erreichte fast die Dächer der Bauernhäuser. Asche drang selbst in die Häuser ein, und drei Häuser stürzten zusammen. Beim Dorfe Mizutonoshinden lag sie auch 7 Fuß hoch, so daß nur die Dächer sichtbar waren, beim Dorfe Subashimura 10 Fuß hoch. Kosazuba war mit Asche bedeckt und der Asamatempel zur Hälfte in Asche gehüllt. . . . In den Gegenden, wo der Aschenregen in besonders großen Massen niederfiel, wie bei Mikaidamigo, wurden die Bambuswälder entblättert; überhaupt blieb da von den Bäumen nur Stamm und Geäste. In den Dörfern, die besonders stark mitgenommen waren, litt man Wassermangel. Da die Reisfelder und Äcker des Odawaragebietes gänzlich verwüstet waren, so gab die Regierung im März 1708 dem Fürsten auf seine Bitte ein andres Gebiet von 56,300 Koku. Ein Brief aus Fujigori lautet folgendermaßen: Seit gestern mittag um 2 Uhr bis heute, den 23., kamen etwa 30 heftige Erdstöße vor, welche viele Häuser vernichteten; gestern um 10 Uhr fing ein unterirdischer Donner an zu grollen, worauf schwarze Rauchwolken über dem Fusinoyama sichtbar wurden. Alle Bewohner waren von gleich peinlicher Angst erfüllt, doch fand bis jetzt noch niemand den Tod. Die Rauchwolken stiegen höher und höher über den Berg; während des Tages sah man nichts als diese Wolke, als aber die Nacht einbrach, fuhren Feuerstrahlen aus derselben hervor. Später wurde das Feuer immer mächtiger, Asche und Steine flogen umher, um bis auf 20 Ri Entfernung in den benachbarten Provinzen niederzufallen. Besonders stark war der Aschenregen in den Provinzen Idzu, Sagami und Suruga, wo die Aschenmasse stellenweise 20 Fuß betrug, so daß die Anzahl der verschütteten Häuser und Tempel und der verwüsteten Felder eine alle Begriffe überschreitende war. Endlich nahm die Heftigkeit des Ausbruches wieder ab, um zuletzt vollständiger Ruhe zu weichen. Dort, wo der Vulkan Lava ausgeworfen hatte, war ein großer Krater gebildet worden, bei dem ein neuer Berg, Hoeisan, entstand. Seitdem hat der weit berühmte Berg, der in China und Korea vergebens seinesgleichen sucht, seine schöne Gestalt eingebüßt. Wie traurig!"

Wir lernen aus diesem Berichte einen der großartigsten Aschenausbrüche kennen, der so riesige Mengen loser Produkte lieferte, daß er an Masse, wenn auch nicht an Umfang des Gebietes, über das er sich verbreitete, nicht sehr weit hinter der Eruption des Temboro auf Sumbawa zurückgeblieben zu sein scheint; die Lava trat seitlich aus einem parasitischen Krater aus.

Die Anordnung der Vulkane Japans ist eine ziemlich verwickelte. Naumann hat diesen Gegenstand näher untersucht und die Stellung der japanischen Vulkane mit den Verhältnissen des Gebirgsbaues in einer Weise in Zusammenhang gebracht, welche von großem Interesse ist und auf das Wesen der Vulkanbogen überhaupt Licht wirft. Er zeigt, daß in der Streichungsrichtung der Gebirge Japans zwei Hauptdirektionen erkennbar sind, welche nicht nur auf Japan auftreten, sondern im Baue der angrenzenden Gebiete wiederkehren und auch auf dem asiatischen Festlande weite Verbreitung finden. Schon in der äußern Form der japanischen Inseln kommen diese Richtungen klar zum Ausdrucke: die Nordsüdrichtung, die weiter südlich in eine von Nordnordosten nach Südsüdwesten gewendete übergeht, ist deutlich in der Haupterstreckung von Sachalin erkennbar, sie kommt in der nordsüdlichen Bergkette von Jesso zum Ausdrucke, in der Nordhälfte der Insel Nippon und in der Insel Kiusiu. Anderseits aber erscheint nicht minder deutlich die zweite von Ostnordosten nach Westsüdwesten gehende Richtung; dieselbe tritt in den beiden in diesem Sinne orientierten Vorsprüngen der Insel Jesso hervor, welche sich unmittelbar an die Inselreihe der Kurilen anschließen. Die Begrenzung des südwestlichen Teiles von Nippon und diejenige von Shikok zeigen denselben Verlauf, der in ähnlicher Weise in einem großen Teile der Gebirge Chinas herrscht (vgl. die Karte auf S. 242).

Weit verwickelter, als es im Küstenumrisse zum Vorscheine kommt, kreuzen sich diese zweierlei Richtungen im Gebirgsbaue Japans, und wie die Einzelheiten dieser, so folgen auch die Vulkanlinien bald der einen, bald der andern der beiden Richtungen, wobei jedoch die nordnordöstliche durch Vulkanreichtum bei weitem überwiegt. Wir sehen so den Umriß des Landes, die Lage der Feuerberge und die Richtung der Gebirgsketten durch zwei sich annähernd rechtwinkelig kreuzende Störungslinien und Spaltensysteme bedingt, und es ist sehr wahrscheinlich, daß die ähnlich gebauten Inselgruppen Ostasiens ihre Gestaltung analogen Verhältnissen verdanken. Ja, wir werden an einem andern Orte sehen, daß eine ganz ähnliche Bildung in weit entfernter Gegend den Bau Griechenlands und seiner Inseln beherrscht.

Besondere Beachtung verdient noch eine kleine Reihe von Vulkaninseln, welche, in einer Linie angeordnet, etwa von der Mitte von Nippon, aus der Gegend von Tokio, nach Süden streichen. Es gehören hierher die sehr stark und noch in neuester Zeit thätige Insel Ooshima und drei andre aktive Vulkane weiter im Süden. In der Verlängerung dieser Reihe stehen dann weiter entfernt die Bonininseln und noch bedeutend weiter, schon fern im Stillen Ozeane, die Marianen, beides Gruppen eruptiver Natur.

Die nördlichste Bogenreihe der ostasiatischen Vulkane bilden die Kurilen und die Halbinsel Kamtschatka; die erstern enthalten 20 Vulkane, von denen die Hälfte thätig ist, besonders aber steht Kamtschatka an Macht und Ausbreitung der eruptiven Thätigkeit vielleicht hinter keinem Striche der Erde, Java ausgenommen, zurück. Ein großer Teil des Landes ist noch wenig bekannt, es wird seiner Länge nach von drei parallelen Bergzügen durchschnitten, von denen der östliche am reichsten an Feuerbergen und auch am besten untersucht ist. Übrigens ist nicht ganz Kamtschatka in gleicher Weise mit Vulkanen bedeckt, im nördlichen Teile scheinen sie zu fehlen, und erst südlich von dem Punkte, wo sich die von Amerika herüberstreichende Inselkette der Aleuten an die Küste anschließt, treten dieselben auf. Man kennt ihrer 38, darunter 12 thätige, doch mag die Zahl in Wirklichkeit weit größer sein. Viele der kamtschadalischen Feuerberge sind von außerordentlicher Größe und

Erklärung:
● Vulkane ; ¦ - - - - - Richtung der Gebirge auf den Japanischen Inseln.

Oestl. Länge 135 v. Greenwich

Ochotskisches Meer

Kamschatka

SIBIRIEN

Nikolajewsk

Sachalin

CHINA

Tatar. Golf

La Perouse Str.

I. Urup

I. Iturup

I. Kunaschir

Kurilen

I. Paramuschir

Mandschurei

Wladiwostok

Jesso

Hakodadi

Japanisches Meer

KOREA

NIPPON

Nügata

Tokio (Jedo)

Jokohama

Kioto

Gelbes Meer

Sikok

Kiusiu

Nagasaki

Ostchinesisches Meer

Liu-kiu Inseln

Bonin Inseln

GROSSER OCEAN

Richtung der Marianen

Die Verbreitung der japanischen Vulkane (nach Naumann). Vgl. Text, S. 241.

Bedeutung; so trägt der Uson einen kreisrunden Krater von mehr als eine Meile großem Durchmesser. Vor allen andern aber ist die Klutschewskaja Sopka zu nennen, der höchste rein vulkanische Berg der Erde, der sich direkt von der Küste und vom Niveau des Meeresspiegels zu 4886 m erhebt; wohl gibt es eine Reihe von Vulkanen, deren Spitzen sich in einer weit bedeutendern Meereshöhe befinden, aber diese sind nicht vom Fuße bis zum Gipfel vulkanische Aufschüttungskegel, sondern sie haben sich über einer nicht vulkanischen Hochebene oder auf einer Gebirgskette aufgebaut, wie das z. B. in Südamerika und Mexiko der Fall ist.

Die Verbindung zwischen Asien und Nordamerika wird durch die der Beringsstraße südlich vorgelagerten Aleuten hergestellt, welche einen kräftig geschwungenen, gegen Süden konvexen Bogen bilden. Ganz im Westen dieser Reihe sind keine Ausbrüche bekannt, die Vulkane beginnen erst etwas weiter östlich und werden steiler und höher, je mehr man sich Amerika nähert; man zählt ihrer 48, welche alle in neuerer Zeit thätig waren. Unter ihnen finden wir auch die im Jahre 1796 neuentstandene Insel Joanna Boguslawska, deren früher (S. 198) Erwähnung gethan wurde.

Die amerikanischen Vulkane.

Die aleutische Reihe der Vulkane setzt sich auf dem Festlande von Nordamerika in der Halbinsel Alaska mit fünf Vulkanen fort, und zwei weitere Feuerberge liegen auf benachbarten Inseln. Aus dem ehemals russischen Amerika werden noch einige andre Vulkane erwähnt, von welchen der 5444 m hohe Eliasberg am bekanntesten ist, doch wird dessen jungeruptive Natur mehrfach in Zweifel gezogen; weiter nördlich befindet sich ziemlich weit landeinwärts ein Vulkan am Kupferflusse.

Ehe wir die weiter südlich gelegenen Vorkommnisse ins Auge fassen, müssen wir in wenigen Worten den Gebirgsbau der westlichen Teile Nordamerikas klarlegen. Ein mächtiges Kettengebirge beginnt hoch im Norden nahe der Küste, zieht dann durch den westlichsten Teil von Britisch-Nordamerika und als Cascade Range und Sierra Nevada durch die Vereinigten Staaten; hier aber liegt diese Kette nicht unmittelbar am Meere, sondern ist von diesem durch das Küstengebirge oder die Coast Range getrennt. Ein drittes gewaltiges Gebirgssystem bildet das Felsengebirge oder die Rocky Mountains, welche, vom Nördlichen Eismeere nach Süden gerichtet, ebenfalls Britisch-Nordamerika und die Vereinigten Staaten durchschneiden; sie liegen bedeutend weiter östlich als der Gebirgszug der Cascade Range und der Sierra Nevada, und zwischen beiden befindet sich ein weites Binnengebiet, mächtige Tafelländer, selbst wieder von gewaltigen Gebirgen durchzogen. Innerhalb der Vereinigten Staaten fallen in diese Mulde zwischen Rocky Mountains im Osten und Sierra Nevada im Westen die Staaten und Territorien Idaho, Utah, Nevada und Arizona in ihrer Gesamtheit, Washington, Oregon und Kalifornien mit ihrem östlichen, Colorado und Neumexiko mit ihrem westlichen Teile. Wir haben also, abgesehen von der Coast Range, im Westen von Nordamerika drei Hauptterrainabteilungen zu unterscheiden: eine Gebirgskette im Westen (Sierra Nevada, Cascade Range und ihre nördliche Fortsetzung), eine andre Kette im Osten (Rocky Mountains) und eine weite, selbst wieder von mächtigen Gebirgen durchzogene Mulde zwischen beiden.

Die Mehrzahl der Vulkane liegt in der westlichen Gebirgskette; unter 58° 45′ nördlicher Breite erhebt sich der etwa 4550 m hohe Mount Fair Weather, welcher noch vor kurzem eruptiv gewesen sein soll, dann folgt eine ganze Reihe gewaltiger Berge von 3000 bis 5500 m Höhe, meist erloschen, die sich bis zu dem an der Nordgrenze von Kalifornien gelegenen Mount Shasta hinabziehen (s. Abbildung, S. 244). Es werden ihrer etwas über zwölf aufgezählt, doch sind sie durchaus nicht alle sicher als vulkanisch bekannt, während

anderseits verschiedene Berge, die wirklich in diese Kategorie gehören, in jenen wenig untersuchten Gebieten noch unentdeckt sein mögen. Nennenswert ist Mount Hood in Oregon, ein über 3000 m hoher, mehr als 20 Meilen vom Meere gelegener Kegel, der noch im Zustande schwacher Thätigkeit sich befindet; außerdem hatte Mount Baker im Territorium Washington im Jahre 1880 einen Ausbruch. Auch südlich von Mount Shasta ist ein großer Teil der Sierra Nevada bis zu Lassen's Peak vulkanisch. Aus der kalifornischen Coast Range wird Monte Diablo als erloschener Vulkan citiert (?).

Von großer Bedeutung ist die große Mulde zwischen Sierra Nevada und den Rocky Mountains. Diese gewaltige Plateaulandschaft mit mächtigen Gebirgsketten, wie Wahsatch, Uintha Mountains, Humboldt Range 2c., hat so ungeheure Massen jüngerer Eruptivgesteine aufzuweisen wie nur wenige Gegenden der Welt. In diesem Gebiete treten jene merkwürdigen, früher beschriebenen „Lakkolithen“ auf und eine große Menge von Trachyten und Basalten, die aber überwiegend tertiär sind. Allerdings werden auch noch jüngere Eruptivgesteine erwähnt, deren Kraterformen zum Teile noch so frisch sein sollen, daß man an Ausbrüche in den letzten Jahrhunderten, nach der Besetzung des Landes durch die Spanier, zu glauben geneigt ist; doch ist es vorläufig nicht möglich, beide konsequent voneinander zu scheiden. Da diese Gebiete sehr weit vom Meere entfernt liegen, hat man diese Vulkane mit den gewaltigen Binnenseen in Verbindung gebracht, welche in der Tertiärzeit und noch in diluvialer Zeit sich hier befanden. Höchst merkwürdigerweise werden nun aber in neuerer Zeit, seitdem das Land mehr bekannt, mehr bereist und besiedelt ist, wirkliche Ausbrüche von Vulkanen berichtet; im Jahre 1873 wird eine allerdings verdächtige Eruption von Heureka in Nevada erwähnt, im Jahre 1877 eine solche aus dem südöstlichsten Kalifornien an den Ufern des Rio Colorado, 60 Meilen von Fort Juma, gemeldet, welche den Angaben nach etwa 60 Meilen vom Meere stattgefunden haben müßte. Vor allem interessant ist aber eine allerdings noch nicht weiter bestätigte und darum noch sehr zweifelhafte Nachricht über den Ausbruch eines Vulkanes im Territorium Idaho, etwa 110—120 Meilen vom Meere entfernt: „Aus Levinston kam die unerwartete Nachricht, daß 12 Meilen östlich von Mount Idaho, wo bisher ein Vulkan nicht bekannt war, an einem Berge am 9. August 1881 ein heftiger vulkanischer Ausbruch begonnen habe; die Stelle dieser Eruption soll an der südlichen Abdachung der South Fork-Berge am Clear Water River gelegen sein. Augenzeugen berichten, daß Rauch- und Feuersäulen von mehreren Hundert Meter Höhe aufstiegen und weithin sichtbar glühende Lava sich über den Abhang ergoß. Der Lavafluß hörte nicht früher


Der Mount Shasta in Kalifornien (nach Dana). Vgl. Text, S. 243.

auf als der Rauch- und Feuerschein, die lange Zeit aus großer Ferne gesehen werden konnten. Man glaubt, daß der thätige Krater 1000 Fuß über dem Clear Water River lag, in einer Gegend, in der früher Erdbeben gespürt worden waren, und wo auch der Tradition nach schon Ausbrüche vorgekommen sein sollen. Die Eruption hatte mit so heftigem Getöse begonnen, daß man es an der Mündung des Salmon River in Camas Prairie und in Mount Idaho, also im Umkreise von 75 engl. Meilen, hörte." (C. W. C. Fuchs.)

Sehr eigentümliche Verhältnisse finden wir bei den mexikanischen Vulkanen. Wohl zieht sich auch hier eine Reihe solcher längs der Küste des Stillen Ozeanes hin, so der Vulkan von Tepic (1361 m), in unmittelbarer Nähe der Ceboruco (1525 m), Ahualcan,



Popocatepetl und Iztaccihuatl in Mexiko (nach Pieschel). Vgl. Text, S. 246.

der Colima de Fuego, Pik von Tanzitaro, der noch in neuester Zeit sehr thätig war, der erst 1870 entstandene Pochutla im Staate Oajaca und einige andre, bis am südöstlichen Ende von Mexiko der Berg Soconusco die Verbindung mit den zentralamerikanischen Vulkanen herstellt. Mögen aber auch, was sehr wahrscheinlich ist, in der Küstenkette, namentlich gegen Norden, manche Vulkane noch zu entdecken sein, jedenfalls fällt das Maximum eruptiver Thätigkeit nicht hierher, sondern in eine ostwestlich verlaufende Linie, welche ungefähr unter dem 19.° nördlicher Breite quer durch das Land vom Atlantischen zum Stillen Ozeane verläuft und in der Umgebung der Stadt Mexiko besonders zahlreiche Vulkane trägt. Diese Reihe beginnt am Atlantischen Meere, etwas südöstlich von Veracruz, mit dem 1663 m hohen Vulkane von Tuxtla, der im Jahre 1793 einen Ausbruch hatte und noch heute stark dampft; dann folgen der gewaltige Pik von Orizaba (Citlatepetl, 5393 m) und der Cofre de Perote (Nauhcamptepetl);

ihnen schließen sich die beiden Bergriesen der Umgebung von Mexiko, der in Solfatarenthätigkeit begriffene Popocatepetl (5399 oder 5426 m) und der erloschene Iztaccihuatl (4687 m) an (s. Abbildung, S. 245), beide im Südwesten der Stadt gelegen; südlich von dieser liegen drei erloschene Vulkane am See von Xochimilco, während im Westen der ebenfalls nicht mehr thätige Cerro de Ajusco steht; im Jahre 1881 bildete sich ferner im Gebirge von Ajusco ein neuer Vulkan, welcher durch seinen bedeutenden Abstand vom Meere interessant wird; er liegt von den beiden Ozeanen so ziemlich gleichweit, ungefähr 36 geogr. Meilen entfernt, etwas weiter als Jungfrau und Finsteraarhorn vom Golfe von Genua; gegen den Stillen Ozean reiht sich dann der Schneeberg von Toluca an, ferner der Jorullo



Der Jorullo in Mexiko (nach Pieschel).

(1309 m), der im Jahre 1759 entstand und durch die Schilderung von Humboldt als ein Beleg für die Elevationstheorie große Berühmtheit erlangte. Der schon oben genannte Pik von Tanzitoro steht auf der Kreuzungsstelle dieser Vulkanreihe mit dem Küstengebirge.

Infolge der großen Rolle, welche die Bildung des Jorullo in der Entwickelung der Vulkanologie gespielt hat, müssen wir uns mit diesem Berge etwas näher beschäftigen. Humboldt berichtet darüber im vierten Bande des „Kosmos" (gekürzt):

„In der Reihe der mexikanischen Vulkane ist das größte und seit meiner amerikanischen Reise berufenste Phänomen die Erhebung und der Lavaerguß des neuerschienenen Jorullo. Dieser Vulkan bietet durch seine Lage zwischen den beiden Vulkanen von Toluca und von Colima und durch seinen Ausbruch auf der großen Spalte vulkanischer Thätigkeit, welche sich vom Atlantischen Meere bis zur Südsee erstreckt, eine wichtige und darum um so mehr bestrittene Erscheinung dar. Dem mächtigen Lavastrome folgend, welchen der neue Vulkan ausgestoßen, ist es mir gelungen, tief ins Innere des Kraters zu gelangen und in demselben

Instrumente aufzustellen. Dem Ausbruche in einer weiten, lange friedlichen Ebene der ehemaligen Provinz Michoacan in der Nacht vom 28. auf den 29. September 1759, über 30 geogr. Meilen von jedem andern Vulkane entfernt, ging seit dem 29. Juni desselben Jahres, also zwei volle Monate lang, ein ununterbrochenes unterirdisches Getöse voran. Der Ausbruch des neuen Vulkanes um 3 Uhr morgens verkündigte sich am Tage vorher durch eine Erscheinung, welche bei andern Eruptionen nicht den Anfang, sondern das Ende zu bezeichnen pflegt. Da, wo gegenwärtig der große Vulkan steht, befand sich ehemals ein dichtes Gebüsch von der wegen ihrer wohlschmeckenden Früchte bei den Eingebornen beliebten

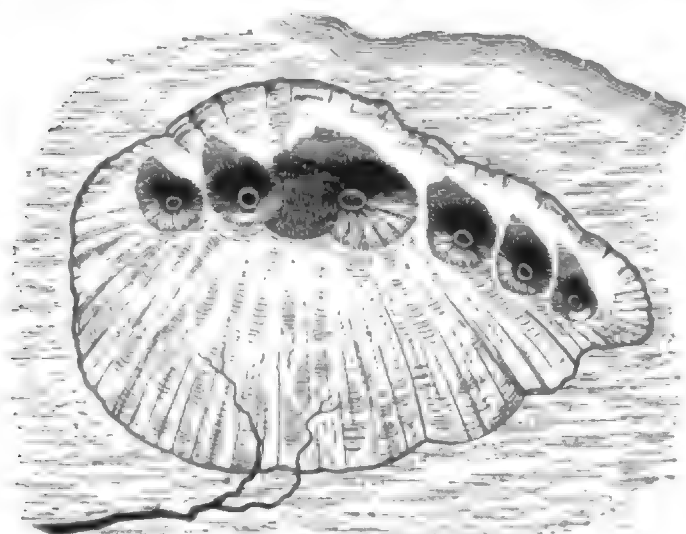


Der Krater des Jorullo (nach Pieschel).

Guyava. Arbeiter aus den Zuckerrohrfeldern der Hacienda de San Pedro Jorullo waren ausgegangen, um Guyavafrüchte zu sammeln. Als sie nach der Hacienda zurückkamen, bemerkte man mit Erstaunen, daß ihre großen Strohhüte mit vulkanischer Asche bedeckt waren. Es hatten sich demnach schon in dem, was man heute Malpais (ein rauhes Lavafeld) nennt, wahrscheinlich am Fuße der hohen Basaltkette El Cuiche, Spalten gebildet, welche diese Asche ausstießen, ehe noch in der Ebene sich etwas zu verändern schien. Aus einem in den bischöflichen Archiven von Valladolid aufgefundenen Briefe des Paters Joachin de Ansogorri, welcher drei Wochen nach dem Tage des ersten Ausbruches geschrieben war, scheint zu erhellen, daß der Pater Isidor de Molina aus dem Jesuitenkollegium des nahen Patzcuaro, hingesandt, ‚um den von dem unterirdischen Getöse und den Erdbeben aufs äußerste beunruhigten Bewohnern geistlichen Trost zu geben‘, zuerst die zunehmende Gefahr erkannte und dadurch die Rettung der ganzen kleinen Bevölkerung veranlaßte. In den ersten Stunden der Nacht lag die Asche schon 1 Fuß hoch; alles floh gegen die Anhöhen von Aguasarco zu, einem

Indianerdörfchen, das 2260 Fuß höher als die ehemalige Ebene von Jorullo liegt. Von diesen Höhen aus sah man, so geht die Tradition, eine große Strecke Landes in furchtbarem Feuerausbruche, und mitten zwischen den Flammen, wie sich die ausdrückten, welche das Bergaufsteigen erlebt, erschien gleich einem schwarzen Kastelle ein großer, unförmlicher Klumpen.

„Nach der weit und übereinstimmend unter den Eingebornen verbreiteten Tradition soll in den ersten Tagen der Ausbruch von großen Felsmassen, Schlacken, Sand und Asche immer auch mit einem Ergusse von schlammigem Wasser verbunden gewesen sein. In dem vorerwähnten denkwürdigen Berichte vom 19. Oktober 1759, der einen Mann zum Verfasser hat, welcher mit großer Lokalkenntnis das eben erst Vorgefallene schildert, heißt es ausdrücklich, daß der Vulkan Sand, Asche und Wasser ausstieß. Alle Augenzeugen erzählen, daß, ehe der furchtbare Berg erschien, die Erdstöße und das unterirdische Getöse sich häuften, am Tage des Ausbruches selbst aber der flache Boden sich sichtbar senkrecht erhob und das Ganze sich mehr oder weniger aufblähte, so daß Blasen erschienen, deren größte heute der Vulkan ist. Diese aufgetriebenen Blasen, von sehr verschiedenem Umfange und teilweise sehr regelmäßig konischer Gestalt, platzten später und stießen aus ihren Mündungen kochend heißen Erdschlamm wie verschlackte Steinmassen aus, die man, mit schwarzen Steinmassen bedeckt, noch bis in ungeheure Ferne auffindet. Diese historischen Nachrichten, die man freilich ausführlicher wünschen möchte, stimmen ganz mit dem überein, was ich im Jahre 1803 aus dem Munde der Eingebornen hörte. Auf die Frage, ob man das ‚Bergkastell‘ nach Monaten oder Jahren sich allmählich habe erhöhen sehen, oder ob es gleich in den ersten Tagen schon als ein hoher Gipfel erschienen sei, war keine Antwort zu erhalten. Die Behauptung, daß Eruptionen bis 1776 vorgefallen wären, wurde als unwahr geleugnet.



Plan des Jorullo.

„An dem westlichen Abfalle der von Südsüdosten nach Nordnordwesten streichenden Zentralkette von Mexiko bildet die Ebene von Jorullo in nur 2400 Fuß über der Südsee eine von den horizontalen Bergstufen, welche überall in den Kordilleren die Neigungslinie des Abfalles unterbrechen. Der rundliche, konvexe Teil der gehobenen Ebene hat ungefähr 12,000 Fuß im Durchmesser, also ein Areal von mehr als $^1/_3$ geogr. □Meile. Der eigentliche Vulkan von Jorullo und die fünf andern Berge, die sich mit ihm zugleich auf einer Spalte erhoben haben, liegen so, daß nur ein kleiner Teil des Malpais östlich von ihnen fällt. Die Vergleichung der Barometerstände des Punktes, wo die Hebung in der Ebene anfängt, mit dem Punkte unmittelbar am Fuße des Vulkanes ergibt einen Höhenunterschied von 444 Fuß. Das Haus, welches wir bewohnten, stand fast 1 km von dem Rande des Malpais ab. Es fand sich dort ein kleiner, senkrechter Absturz von kaum 12 Fuß Höhe, von welchem die heiß gewordenen Wasser des Baches herabfallen. Was ich dort am Absturze von dem innern Baue des Erdreiches untersuchen konnte, zeigte schwarze, horizontale Lettenschichten, mit Sand gemengt. An andern Punkten, die ich nicht gesehen, hat Burkart ‚an der senkrechten Begrenzung des erhobenen Bodens, wo dieser schwer zu ersteigen ist, einen lichtgrauen, wenig dichten Basalt mit vielen Körnern von Olivin‘ beobachtet. Dieser genaue und erfahrene

Beobachter hat aber an Ort und Stelle, ganz wie ich, die Ansicht von einer durch elastische Dämpfe bewirkten blasenförmigen Hebung der Erdoberfläche gefaßt, entgegengesetzt der Meinung berühmter Geognosten, welche die Konvexität, die ich durch unmittelbare Messung gefunden, allein dem stärkern Lavaergusse am Fuße des Vulkanes zuschreiben.

„Die vielen Tausende der kleinen Auswurfskegel (Hornitos), eigentlich mehr rundlicher oder etwas verlängerter backofenartiger Form, welche die gehobene Fläche ziemlich gleichmäßig bedecken, sind im Mittel von 4 bis 9 Fuß Höhe. Sie sind fast allein auf der westlichen Seite des großen Vulkanes emporgestiegen, da ohnedies der östliche Teil kaum $^{1}/_{25}$ des Areales der ganzen blasenförmigen Hebung ausmacht."

Auch diese Hornitos, höchst eigentümliche Gebilde, wurden für Erhebungserscheinungen gehalten. Später hat namentlich Saussure den Jorullo besucht und ist mit vollster Entschiedenheit zu dem entgegengesetzten Resultate gelangt: „Der Vulkan Jorullo ist sicherlich nicht durch Erhebung entstanden, und seine Phänomene, weit entfernt, zu gunsten der erhebenden Wirkung der vulkanischen Kraft zu sprechen, zeigen im Gegenteile, daß die mächtigsten Ausbrüche stattfinden können ohne die geringste Änderung in der Lage der Oberflächenschichten". Scrope faßt die Deutung der Erscheinungen folgendermaßen zusammen (aus zwei Stellen in Scropes Werke kombiniert): „Sechs Schlünde hatten sich auf einer nordsüdlichen Spalte in einer Tiefebene geöffnet, über deren jedem ein gewöhnlicher Aschenkegel durch die fortdauernden Schlackenauswürfe aufgehäuft war, während wahrscheinlich aus allen diesen, aber hauptsächlich aus dem größten und zentralen Kegel des eigentlichen Jorullo, reichliche Ströme einer unvollkommen flüssigen, basaltischen Lava ergossen wurden, welche auf keine große Entfernung flossen, sondern sich übereinander zu einer hohen, konvexen Plattform, dem Malpais, häuften. Die letzte Lavaergießung geschah aus dem eingebrochenen Krater des Jorullo selbst, und sie bildete infolge des äußerst geringen Flüssigkeitsgrades ein massives Vorgebirge oder einen Strebepfeiler, den man noch jetzt von der Seite des Kegels ausgehen sieht, während der Fuß mit der Lava des Malpais gemengt ist. Gewaltige Ausbrüche schwarzer Asche gehörten zu den zuletzt erwähnten Eruptionserscheinungen, und die rauhen Protuberanzen über den Fumarolen des Lavastromes, bedeckt von einer 1 oder 2 Fuß dicken Schicht dieser Bruchstücke, welche unter dem Einflusse heißer Dämpfe konkretionäre Struktur annahm, bildeten die heuschoberartigen Hornitos."

Unter diesen Verhältnissen wird man jedenfalls den Jorullo nicht mehr als einen Beleg für die Erhebungstheorie anführen können, und auch den Berichten ungebildeter und in heftiger Angst und Aufregung befindlicher Augenzeugen, die überdies von einer entfernten Anhöhe den Vorgang beobachteten, wird man kein großes Gewicht beilegen dürfen.

Das Auftreten der interozeanischen Querreihe in Mexiko, zu welcher auch der Jorullo gehört, ist eine höchst merkwürdige und auffallende Erscheinung, ja man kann sagen, daß sie auf der ganzen Erde ihresgleichen nicht hat. In ihrer Beziehung zur Gebirgsbildung könnte man sie etwa mit der Spalte vergleichen, welche in Unteritalien den Vultur bei Melfi trägt, oder mit den Erdbebenlinien, die vom Rande der Südalpen aus nach Norden vordringen; ein wirklich mit dieser Erscheinung übereinstimmendes Vorkommnis ist uns aber auf der ganzen Erde nicht bekannt. Jene Querreihe wird um so interessanter, als in der Verlängerung dieser Linie gegen Westen die aller Wahrscheinlichkeit nach aktiv vulkanischen Revilla-Gigedo-Inseln im Stillen Ozeane liegen.

Der Soconusco im südlichsten Mexiko eröffnet die Reihe der zentralamerikanischen Vulkane, deren überaus zahlreiche Kegel von hier bis an das südwestliche Ende der Republik Costarica in dicht gedrängtem Schwarme auf einer Reihe stehen. Man teilt dieselben in der Regel nach den politischen Grenzen der Staaten, in denen sie liegen, ein in die Gruppen von Guatemala, San Salvador, Honduras, Nicaragua und

Costarica, doch entspricht diese Trennung durchaus keinen natürlichen Abteilungen. In der Anordnung der Feuerberge und in ihrem Verhältnisse zu den ältern Gebirgsketten machen sich einige Eigentümlichkeiten bemerkbar. Das Verhältnis ist in den großen Hauptzügen ein derartiges, daß der breitere nordöstliche, an den Atlantischen Ozean grenzende Längsabschnitt von Zentralamerika aus einer Gebirgskette von ältern Massengesteinen, kristallinischen Schiefern und Sedimentärablagerungen besteht, während der schmälere südwestliche Teil an der pazifischen Küste dem Gebirge als flacheres Land vorliegt. Aus diesem letztern niedrigern Gebiete erheben sich nun die Vulkane, deren man wohl 60 zählen mag; dieselben bilden aber keine einfache Reihe, sondern sie stehen auf dieser breiten Zone bald vereinzelt, bald zu mehreren vereinigt auf Querspalten, welche von Südwesten nach Nordosten gerichtet sind, wie das in ähnlicher Weise schon von den Vulkanen auf Java geschildert wurde. Im allgemeinen erheben sich die zentralamerikanischen Vulkane zu keinen sehr bedeutenden Höhen; einige derjenigen, welche durch die unglaubliche Energie ihrer Thätigkeit ausgezeichnet sind, gehören sogar zu den unscheinbaren Höhen. Das gilt z. B. und vor allen von dem Conseguina in Nicaragua, einem unbedeutenden Hügel von 162 m Höhe. Riesige Berge sind namentlich in nächster Nähe der Stadt Guatemala vorhanden, wo einige Gipfel sich über 4000 und fast bis zu 5000 m erheben. Hierher gehören die zwei gefährlichen Nachbarn der Stadt, Volcano di Fuego und Volcano di Agua, welche ihre Namen daher erhalten haben, daß der erstere durch Lavaströme, der andre durch einen Wasserausbruch aus seinem Kratersee Unheil stifteten. In San Salvador ist ein wichtiger Berg, der nur 641 m hohe Vulkan von Isalco, von C. v. Seebach näher untersucht worden; er ist erst zu Ende des vorigen Jahrhunderts (im Jahre 1770 oder 1793) entstanden und seither in fast ununterbrochener Thätigkeit. Auch im Jahre 1879 hat sich in demselben Staate bei Ilopango, 12 km von der Stadt San Salvador, wieder ein neuer Vulkan gebildet.

In Nicaragua tritt uns zunächst an der nordwestlichsten Spitze, welche an dem Golfe von Fonseca vorspringt, der Conseguina entgegen, der trotz seines geringen Umfanges doch, was die Macht seiner Ausbrüche anlangt, sich den gewaltigsten Vulkanen zur Seite stellt und mit dem Krakatau, dem Guntar Gelungung auf Java und dem Temboro auf Sumbawa in eine Linie gestellt werden kann. Eruptionen sind von 1709, 1809 und besonders von 1835 bekannt; der letztere Paroxysmus „zeichnet sich vor allen dadurch aus, daß die Eruptionsprodukte in ungeheure Entfernungen geschleudert wurden, noch weiter als diejenigen des Temboro bei seinem berühmten Ausbruche von 1815, oder daß mit andern Worten die Spannung eine Höhe erreichte wie bei keinem andern vulkanischen Ausbruche.

„Die Eruption begann nach einer sechsundzwanzigjährigen Ruhe im Januar 1835. Unter heftigem Geräusche erhob sich eine dichte, pyramidenförmige Wolke, die sich mehr und mehr ausbreitete, bis sie die Sonne verdeckte. Schon nach Verlauf einer Stunde war unter Blitz und Donner der ganze Himmel verhüllt und alles in der tiefsten Finsternis. Am Nachmittag begannen die Erdbeben, die fortwährend an Heftigkeit zunahmen; Menschen wurden auf dem Wege durch die heftige Bewegung des Bodens umgeworfen. Der 23. Januar zeichnete sich durch den heftigen Donner aus, der den Salven schweren Geschützes glich; seine Asche fiel in so großer Menge, daß dadurch alles bedeckt wurde; der Aschenregen hielt bis zum 27. Januar an. In der weitern Umgebung machten sich die Erscheinungen in verschiedener Weise bemerkbar. Am Ufer des Polochic hörte man vom 22. zum 23. ein Getöse in regelmäßigen Zwischenräumen; in der Stadt San Salvador schien der (weit näher gelegene) San Vincente in Eruption. Die völlige Finsternis, welche von der Menge der die Luft erfüllenden Asche herrührte, dauerte 43 Stunden; der Regen von Asche und Bimsstein bedeckte alles und verbreitete sich auf ungeheure Entfernung (s. Karte, S. 278).

Die Asche flog bis Chiapa, 400 Stunden nördlich von dem Punkte der Eruption; zu St. Anné auf Jamaika, also in einer Entfernung von 400 engl. Meilen, fiel am 24. und 25. Asche, so daß sie mindestens täglich 170 Meilen zurückgelegt haben mußte. Unter 7° 26′ nördlicher Breite und 104° 45′ westlicher Länge von Greenwich, 1100 engl. Meilen vom Conseguina entfernt, mußte das Schiff Conway 40 Meilen weit durch schwimmenden Bimsstein fahren. In der Bai von Fonseca entstanden zwei Inseln, etwa 300 Fuß lang, die sich nur durch die niedergefallene Asche angehäuft haben sollen; die Küste selbst wurde durch die Eruptionsprodukte um 800 Fuß breiter. In Santa Fé de Bogota (in Südamerika, Republik Kolumbien) war der Donner so stark, als wenn er in unmittelbarer Nähe entstanden wäre, obwohl diese Stadt nahezu 391 deutsche Meilen vom Conseguina entfernt ist." (C. W. C. Fuchs.)

In Costarica bricht die Reihe der zentralamerikanischen Vulkane ab. Eine neue Kette von Feuerbergen ist es, welche die pazifische Küste von Südamerika begleitet, durch weite Strecken von jener getrennt und, wie ein Blick auf die Karte zeigt, in total verschiedener Richtung; Bergketten und Vulkane im westlichsten Teile Südamerikas gehören einem ganz andern Systeme an als jene von Zentralamerika. Eine wichtige Eigentümlichkeit der Feuerberge Südamerikas ist ihre bedeutende Entfernung vom Meere; nur die allersüdlichsten stehen wirklich nahe an der Küste, die meisten aber befinden sich sehr erheblich von derselben entfernt. Der Vulkan von Tolima steht 40 Meilen vom Meere, eine Anzahl andrer über 30 Meilen, und der Sangai, vermutlich der thätigste Vulkan der Erde, liegt 28 Meilen weit vom Ozeane. Als die mittlere Durchschnittsentfernung der südamerikanischen Vulkane vom Meere darf man etwa 20 Meilen annehmen, d. h. ein Abstand so bedeutend wie der des Großglockners vom Adriatischen Meere. Wenn man trotzdem die südamerikanischen Vulkane häufig als Belege für das stete Auftreten der Feuerberge an der Meeresküste anführt, so ist das nur eine seltsame Folge jener Täuschungen, der man sich über die Distanzen in fernen Weltgegenden hingibt aus dem Grunde, weil wir gewohnt sind, sie in unsern Atlanten immer auf Karten von sehr kleinem Maßstabe dargestellt zu sehen. Die meisten unter ihnen sind, im Gegensatze zu dem Verhältnisse in Zentralamerika, der Gebirgskette der Anden aufgesetzt und verdanken die kolossalen Höhen, bis zu welchen die Gipfel der meisten sich erheben, zum großen Teile dem gewaltigen Sockel, über dem sie sich aufgebaut haben. Eine merkwürdige Eigenschaft, die sie mit den Vulkanen Javas teilen, ist die verhältnismäßig geringe Menge von Lavaströmen, die sie ergossen haben.

Bei weitem nicht die ganze Längenerstreckung der südamerikanischen Anden ist mit Vulkanen besetzt, letztere gruppieren sich vielmehr mit Ausnahme eines isolierten Vorkommens in die drei großen Gruppen von Ecuador, Peru-Bolivia und von Chile, die durch weite vulkanfreie Strecken voneinander getrennt sind. Neben den deutlichen Vulkanen, die teils noch thätig, teils durch ihre Krater charakterisiert sind, treten hier in riesiger Entwickelung jene glockenförmigen Trachytdome ohne Spur von Kratern, von losen Auswürflingen oder von Lavaströmen auf, deren typischer Repräsentant der gewaltige, 6310 m hohe Chimborazo ist. Von Humboldt als Erhebungsdome gedeutet, ist deren Bildung noch heute nicht ganz klar; ob sie als die Produkte von Masseneruptionen im Sinne v. Seebachs aufzufassen seien, oder ob sie normale Vulkane darstellen, welche durch Erosion die leichter zerstörbaren Teile verloren haben, ist noch unsicher.

Die nördlichste Gruppe ist die von Ecuador zwischen dem 5.° nördlicher und dem 2.° südlicher Breite. Das Gebirge bildet hier zwei parallele Ketten, zwischen welchen das Hochthal von Quito eingeschlossen liegt; auf beiden Bergreihen stehen die Vulkane, nur einer von ihnen liegt noch östlich von der innern Kette schon im Gebiete des Amazonenstromes, es ist das der schon oben genannte, 5220 m hohe Sangai, der, obwohl 28 Meilen

vom Meere entfernt, sich seit mehr als anderthalb Jahrhunderten fortwährend in aufgeregter Thätigkeit befindet. Humboldt berichtet über ihn im „Kosmos": „Der thätigste von allen Feuerbergen Südamerikas, ja von allen, die ich hier einzeln angeführt habe, ist der Sangai; der kolossale Berg hat sich am östlichen Abhange der östlichen Kordilleren erhoben, zwischen zwei Systemen von Zuflüssen des Amazonenstromes, denen des Pastaza und des Upano. Das große, unvergleichliche Feuerphänomen, das er darbietet, scheint erst im Jahre 1728 begonnen zu haben. Bei der astronomischen Gradmessung von Bouguer und La Condamine (1738—1740) diente der Sangai als ein perpetuierliches Feuersignal. Ich selbst hörte monatelang im Jahre 1802, besonders am frühen Morgen, seinen Donner in Chillo nahe bei Quito, wie ein halbes Jahrhundert früher Don Jorge Juan die Ronquidos del Sangai etwas weiter nördlich bei Pintac, am Fuße des Antisana, vernommen hatte. In den Jahren 1842 und 1843, wo die Eruptionen mit dem meisten Getöse verbunden waren, hörte man dasselbe deutlichst nicht nur im Hafen von Guayaquil, sondern auch weiter südlich längs der Südseeküste bis Payta und San Buenaventura, in einem Abstande wie Berlin von Basel, wie die Pyrenäen von Fontainebleau oder wie London von Aberdeen. Leider ist der Sangai wegen seiner einsamen, von allen Kommunikationswegen entfernten Lage lange Zeit völlig vernachlässigt worden. Erst im Dezember 1849 hat ihn ein kühner und kenntnisreicher Reisender, Sebastian Wisse, nach fünfjährigem Aufenthalte in der Andenkette bestiegen und ist fast bis zur äußersten Spitze des mit Schnee bedeckten steilen Kegels gelangt. Er hat sowohl die so wunderbare Frequenz der Ausbrüche genau chronometrisch bestimmt, als auch die Beschaffenheit des auf einen so engen Raum zusammengedrängten, den Gneiß durchbrechenden Trachytes untersucht. Es wurden 267 Eruptionen in einer Stunde gezählt, also jede etwa 13½ Sekunde dauernd und, was sehr auffallend ist, von keiner bemerkbaren Erschütterung begleitet. Das Ausgeworfene, in vielen Rauch von bald grauer, bald orangegelber Farbe gehüllt, ist der größern Masse nach ein Gemenge von schwarzer Asche und Rapilli; aber teilweise sind es auch Schlacken, die senkrecht aufsteigen, in kugeliger Form und von einem Durchmesser von 15 bis 16 Zoll. In einem der stärkern Ausbrüche zählte Wisse als gleichzeitig ausgeworfen 50—60 glühende Steine. Sie fallen meist wieder in den Krater zurück, bisweilen bedecken sie dessen obern Rand oder gleiten, bei Nacht hell leuchtend, an einem Teile des Kegels herab. Die Steine steigen einzeln nacheinander auf, so daß die einen im Herabfallen begriffen sind, während andre erst den Krater verlassen. Durch genaue Zeitbestimmung wurde der Fallraum bis zum Kraterrande im Mittel nur zu 737 Fuß bestimmt." Seither hat die Thätigkeit des Sangai bedeutend nachgelassen, die einzelnen Explosionen erfolgen in Zwischenräumen von mehreren Stunden.

Von den übrigen Vulkanen in Ecuador ist der Tolima, der in den Jahren 1595 und 1826 thätig war, wegen seiner großen, 40 Meilen betragenden Entfernung vom Meere hervorzuheben; ganz in der Nähe von Quito erhebt sich der seltsame Pinchincha, der die bei Vulkanen sehr seltene Gestalt eines gestreckten Rückens mit vier Gipfeln hat. Durch bedeutende Höhe ragen hervor der Antisana mit 5833 m und der durch seine prachtvolle, reine Kegelgestalt ausgezeichnete Cotopaxi mit 5943 m. Der erste historische Ausbruch des Cotopaxi fand 1543 (während der Eroberung des Landes durch die Spanier) statt, dann trat zweihundertjährige Ruhe ein; 1742 begann eine neue Periode heftiger Thätigkeit, die 1768 mit einer Katastrophe der furchtbarsten Art schloß. In unserm Jahrhundert waren nur einige wenig bedeutende Ausbrüche, bis 1877 ein solcher mit verderblicher Gewalt auftrat.

Die großen Eruptionen des Cotopaxi zeigen alle dieselben Merkmale: Erdbeben sind selten, unterirdisches Getöse ist mehr in der Entfernung als in nächster Nähe des Berges zu vernehmen; starker Auswurf von Asche, Rapilli und Blöcken sowie alles zerstörende Fluten

von Wasser, Eis, Schlamm und Gesteinsblöcken sind die auffallendsten Erscheinungen, während keine Lavaströme in die von Menschen bewohnten oder besuchten Gegenden herabgelangen. Man hatte daraus geschlossen, daß solche überhaupt fehlen; die Schlammströme sollten entweder in der Weise entstehen, daß Wasser vom Krater ausgeworfen wird, oder daß die Schnee- und Eismassen des Kegels durch die vulkanische Wärme plötzlich geschmolzen werden. Erst als es Reiß 1872 gelang, den Berg zu ersteigen, konnte er eine richtigere Deutung geben, die dann von seinen Nachfolgern Stübel und Wolf bestätigt wurde. Namentlich die Beobachtungen des letztern sind von großem Interesse, da sein Besuch kurze Zeit nach der Katastrophe von 1877 erfolgte. Es ergab sich, daß der Cotopaxi Laven in ansehnlicher Menge auswirft, und daß die glühenden Gesteine auf ihrem Wege nach abwärts bedeutende Massen der sehr dicken Schnee- und Eisdecke schmelzen, woraus jene verheerenden Schlammströme entstehen. Der Verlauf der Eruption von 1877, welche Wolf trefflich geschildert hat, war folgender. Seit Anfang des Jahres rauchte der Berg, am 21. April fand ein starker Aschenregen, auch ein kleiner Lavaerguß statt; schwächere Erscheinungen derselben Art traten in den beiden folgenden Monaten auf und wiederholten sich am 25. Juni in heftigerer Weise. Der 26. Juni brach ruhig und heiter an, aber um 7 Uhr morgens schoß plötzlich eine himmelhohe Pinienwolke aus dem Gipfel hervor und verbreitete in weitem Umkreise Finsternis. Um 9 Uhr begannen heftige Detonationen, die man im fernen Guayaquil und andern entlegenen Orten vernahm, während sie in der Nähe des Vulkanes nicht gehört wurden. Um 10 Uhr vormittags sprudelte der Krater des Cotopaxi von glutflüssiger Lava über; zufällig war gerade um diese Zeit der Gipfel des Berges gegen Südwesten frei, so daß in Mulalo und Cusiguango viele Personen Augenzeugen der Lavaeruption waren. Lebhaft schildern sie den furchtbaren Anblick des Berges, als er plötzlich in Aufwallung geriet und sich eine schwarze Masse rauchend und dampfend über alle Teile des Kraterrandes zugleich herausdrängte. Manche brauchten bei ihrer Schilderung das Bild eines am Feuer plötzlich überwallenden Reistopfes. Nur wenige Augenblicke konnte man den Berg auf diese Weise beobachten, denn alsbald hüllte er sich in den von der Lava erzeugten Dampf. Man hörte nun das schauerliche, allmählich sich verstärkende und näher rückende Getöse, welches die entstehenden Wasser- und Schlammfluten verursachten.

Es gehört zu den Eigentümlichkeiten des Ausbruches, daß die Lava nicht in einem oder in einigen Strömen, sondern gleichmäßig nach allen Richtungen sich aus dem Krater ergoß, über dessen niedrigsten Rand wie über dessen höchste Spitze hinweg, und daher waren die Überschwemmungen als Folgen des Lavaergusses rings um den Berg ganz allgemein. Nach der Form des Kraters hätte sich die Lava bei ruhigem Austritte namentlich nach Osten und Westen wenden müssen, wie es auch bei den letzten historischen Eruptionen der Fall war. Aber diesmal hielt sie sich an keine Regel, kannte sie scheinbar keine Terrainschwierigkeiten. Das Austreiben der Lava geschah plötzlich unter furchtbarer Wallung, denn nur so ist es erklärlich, daß in einer Viertel- bis höchstens einer halben Stunde eine so fabelhafte Menge austrat, und länger kann die Erscheinung nicht gedauert haben, da die von ihr durch Schmelzen des Schnees hervorgerufenen Wasserfluten selbst in den Thälern kaum eine Stunde währten. Der Kegel des Vulkanes ist von mächtigen Eis- und Schneeschichten umlagert, die durch den Austritt der ungeheuern Mengen glühender Lava zum großen Teile geschmolzen wurden. Das Abschmelzen des Schnees geschah sehr ungleich, je nach der Quantität der darüberfließenden Lava, und je nachdem diese bei stark geneigtem Terrain rasch darüber hinwegglitt oder bei geringerer Neigung länger darauf verweilte. Dieselbe sammelte sich in den großen an dem Berge hinabziehenden Schluchten und furchte daselbst tiefe und breite Gassen im Eise aus. Die Wassermassen nahmen feste Bestandteile, Fels- und Eisblöcke, frische Lavaklumpen, Bimsstein, Sand, Asche &c., auf und vermehrten dadurch ihr

Volumen und ihre Kraft mindestens um das Doppelte. Die Schlucht von Manzanahuaico hat eine Breite von etwa 100 und eine Tiefe von etwa 60 m, und dennoch konnte sie den Schlamm- und Steinstrom nicht fassen; mächtige Massen quollen über die Ränder und füllten seitwärts tiefe Schluchten aus, und doch blieb noch genug, um die ganze Sandfläche gegen die Ebene von Plauches hinunter in einer Ausdehnung von 50 bis 60 qkm zu überfluten und Hügel von 6 bis 10 m Höhe anzuschwemmen. Manzanahuaico ist nun aber nur eine von den acht oder neun großen Schluchten (Quebradas), welche auf diese Weise zur allgemeinen Schlammflut in der Ebene von Lacatunga beigetragen haben. Von Callo bis Lacatunga bot die Ebene den Anblick eines großen Schlammsees in wildester Aufregung, und die Fluten drangen vor wie hohe Mauern, die sich fortwährend nach vorn überschlugen. Sie legten nach dem Eintritte in die Ebene etwa 10 m in der Sekunde zurück, in den obern Regionen war die Geschwindigkeit weit größer; drei Stunden nach seinem Eintreffen in Mulalo zerstörte der Strom bereits die etwa 110 km entfernte Brücke über den Rio Pastassa am Fuße des Tunguragua. Der Umstand, daß das Ereignis bei Tage und vor Anbruch der totalen Finsternis geschah, gereichte vielen Personen zum Heile, denn sie konnten sich noch aus ihren Häusern auf die Höhen retten, andern aber auch zum Verderben, da die Straßen voll von Reisenden und namentlich von Maultieren mit ihren Treibern waren. Eine große Zahl wurde an Orten überrascht, wo kein Entrinnen möglich war. Im Distrikte von Lacatunga allein schätzt man die Zahl der Toten auf mehr als 300 ohne die Fremden. Den Schluß des Paroxysmus bildete wieder ein heftiger Aschenregen, welcher wie die ganze Umgebung, so auch den Kegel des Berges überdeckte, so daß derselbe von unten ganz schwarz erschien und keine Spur von Schnee zu sehen war.

Der zweite vulkanische Abschnitt der südamerikanischen Andes, der in Peru und Bolivia gelegen ist, wird durch einen weiten Zwischenraum von den Feuerbergen von Ecuador getrennt. Der südlichste unter diesen, der Sangai, liegt unter 2° südlicher Breite, die peruanische Reihe beginnt im Norden bei 16°; es ist daher zwischen beiden ein vulkanfreier Raum von mehr als 200 geogr. Meilen Durchmesser, weit größer als die Länge der Vulkanreihe von Ecuador oder von Peru, welche beide sich ungefähr über je 120 Meilen erstrecken.

Die peruanische Reihe beginnt mit 16° südlicher Breite und reicht bis zu 24° 17′ nach Süden; auf diesem Raume trägt sie 19 gewaltige Vulkanberge, welche gleich jenen von Ecuador dem Gebirge aufgesetzt, nicht vorgelagert sind und sich im Durchschnitte mindestens ebenso weit wie jene vom Meere entfernen; die Feuerberge, welche den Ostrand des Titicacasees und der Wüste Atacama einsäumen, liegen etwa 40 Meilen vom Meere ab. Wohl der bekannteste Berg dieser ganzen Region ist der Sahama oder Gualatieri, der uns eins der auffallendsten Beispiele dafür gibt, daß die bedeutende Erhebung eines Vulkanes über dem Meeresspiegel noch gar keinen Anhaltspunkt dafür liefert, daß er auch eine gewaltige Aufhäufung eruptiver Materialien darbiete. Wohl erreicht der Sahama die riesenhafte Höhe von 6888 m, er übertrifft also selbst den Chimborazo; allein sein regelmäßig abgestumpfter Kegel ist auf einem aus Sedimentablagerungen bestehenden Hochlande aufgesetzt, das sich zu fast 5400 m erhebt, und der eigentliche Vulkan Sahama überragt dieses nur um 1450 m, so daß derselbe in Wirklichkeit den Vesuv (1297 m im Jahre 1868) nur um einen geringen Betrag übertrifft.

Südlich von der peruanisch-bolivianischen Reihe fehlt es wieder vom 24. bis zum 30. Breitengrade ganz an eruptiven Vorkommnissen, dann folgt die chilenische Vulkanzone, die bedeutendste in Südamerika, welche zwischen 30° 5′ und 43° 50′ südlicher Breite über 30 Eruptionskegel trägt; die nördlichern unter ihnen sind weit vom Meere entfernt, nach Süden aber treten sie mehr und mehr an die Küste heran. Hier bildet der Aconcagua, der bis zu 6970 m emporragt, den höchsten Vulkanberg der Erde; lange schon galt er als

solcher, allein spätere Reisende behaupteten, daß er aus geschichteten Gesteinen zusammengesetzt sei. Erst in neuester Zeit hat Güßfeld, der bis zu 6410 m an dem Berge emporstieg, gezeigt, daß derselbe wirklich aus Eruptivgesteinen besteht; ob aber ein Krater vorhanden ist, bleibt noch ungewiß.

Nahe der chilenischen Küste, zwischen Valparaiso und der Insel Juan Fernandez, befindet sich ein unterseeischer Vulkan, und auch Juan Fernandez, die berühmte Robinson-Insel, ist, wenn auch von Eruptionen nichts bekannt ist, doch aus vulkanischem Materiale, aus Schlacken und Basalt, aufgebaut.

Bis vor kurzem glaubte man, daß mit dem Ende der chilenischen Reihe die moderne vulkanische Thätigkeit in Südamerika gegen Süden abschließe. Zwar wurde aus Patagonien von mächtigen Schlacken- und Lavafeldern berichtet, aber kein wirklicher Ausbruch war beobachtet worden; nur Hall gibt an, daß er unter 55° südlicher Breite, also im südlichsten Teile des Feuerlandes, einen brennenden Berg gesehen habe. In neuerer Zeit sind nun aber bestimmte Nachrichten von einem Ausbruche gekommen; ein englisches Schiff sah einen solchen beim Passieren des Mesierskanales zwischen der Wellington-Insel und dem patagonischen Festlande, auf dem Südende von Middle Island der English Narrows. Ein amerikanisches Schiff versetzt die Eruption nach 48° 56′ 30″ südlicher Breite zwischen der Wellington-Insel und dem Festlande. Beide Ortsangaben stimmen nahezu überein, und es ist sehr wahrscheinlich, daß es sich um dieselbe Erscheinung handelt; jedenfalls ist dadurch das Vorhandensein eines thätigen Feuerberges im südlichsten Patagonien konstatiert.

Die Vulkane im Stillen Ozeane.

Wir haben nun den kolossalen Kranz von Vulkanen kennen gelernt, der den Stillen Ozean vom Sunda-Archipel bis Südamerika gegen Westen, Norden und Osten umrahmt; gegen Süden ist kein so enger Zusammenschluß vorhanden, aber immerhin erstreckt sich von Neuguinea eine Reihe zerstreuter Vulkane quer durch die Südsee gegen die chilenische Küste. Wir haben schon gesehen, daß westlich von Valparaiso ein submariner Vulkan vorhanden ist, und Juan Fernandez besteht wenigstens aus vulkanischen Gesteinen. Weiter im Westen folgen einige kleine Inseln ganz isoliert im Großen Ozeane; die erste ist Waihu, die Osterinsel. Die Insel besteht aus vulkanischen Gesteinen und hat Krater. Weiterhin folgt dann der einsame Fels von Salas y Gomez, ein nackter, verbrannter Lavaklotz, der durch Chamissos wunderbares Gedicht bekannt geworden ist. Die niedrigen Inseln, die sich gegen Westen am nächsten anschließen, sind reine Korallenriffe, und erst weiter westlich treffen wir auf entschiedene Vulkane; Hiwahoa auf den Markesas, Tahiti und Bola-Bola unter den Gesellschaftsinseln, mehrere unter den Samoa-, Fidschi- und Freundschaftsinseln, den Neuen Hebriden, den Salomonsinseln und Neubritannien tragen Vulkane und schließen sich als die südlich gelegene Sehne des riesigen Bogens an Neuguinea mit seinen fünf Vulkanen an.

Im Innern dieses gewaltigen Raumes, der den größten Teil des Stillen Ozeanes umfaßt, gibt es nur wenige Feuerberge; die Marianen springen auf einer von Japan nach Süden reichenden Spalte etwas vor. Nicht weit von der amerikanischen Küste liegen gerade unter dem Äquator die Galapagos oder Schildkröteninseln, welche ganz vulkanisch und mit zahllosen kleinen Kegeln und Kratern bedeckt sind (nach Darwin sind mehr als 2000 Eruptionspunkte vorhanden); doch sind nur zwei von den Inselvulkanen noch thätig. Fast genau im Zentrum des riesigen, von Feuerbergen umschlossenen pazifischen Beckens aber steht die Gruppe der Sandwichinseln, welche neben einigen andern vor allen die

berühmten und großartigen Feuerberge von Hawai in sich schließt. Hier befinden sich der überaus thätige, 4139 m hohe Mauna Loa und der wenig niedrigere, aber ziemlich träge Mauna Kea; beide sind, was ein ziemlich seltener Fall ist, ganz wesentlich nur aus Lava zusammengesetzt ohne starke Beteiligung von losen Auswürflingen; sie sind fast ganz aufgebaut durch Ströme, die sich übereinander ergossen haben. Beide haben daher auch sehr geringen Neigungswinkel, steigen anfangs unter einem Winkel 1—5° an und bleiben auch in den höhern Teilen überall unter 15° Neigung zurück. Der Mauna Loa besitzt einen flachen, ziemlich breiten Gipfel mit dampfendem Krater, aus dem bisweilen Eruptionen stattfinden und Laven austreten. Besonders merkwürdig ist aber sein Seitenkrater Kilauea, der viel weiter unten am Gehänge sich befindet, ein riesiger, von Lavawänden umgebener Kessel, in dessen Grunde früher ein See von stets glutflüssiger Lava wallte, wie er sonst bei keinem andern Vulkane der Erde bekannt ist.

Durchaus alleinstehend in der Geschichte der Vulkane ist der Ausbruch des Mauna Loa, den C. W. C. Fuchs folgendermaßen beschreibt: „Die größte Eruption des Mauna Loa seit Entdeckung der Insel ereignete sich 1866; in einer Höhe von mehr als 3000 m öffnete sich ein neuer Krater, aus welchem drei Tage lang ein mächtiger Lavastrom hervorquoll und sich über den nordwestlichen Abhang des Berges ergoß. Darauf trat Ruhe ein, welche anderthalb Tage währte; es folgte dann ein neuer Lavaausbruch viel tiefer, etwa in halber Höhe des Berges an der Ostseite. Mit schrecklichem Getöse wurden furchtbare Rauchmassen ausgestoßen und von den Schlacken innerhalb weniger Tage ein hoher Kegel aufgebaut. Die Lava wurde mit solch fabelhafter Gewalt hervorgepreßt, daß sie in einem mächtigen Strahle als riesiger Springbrunnen aufstieg; nach Schilderung von Augenzeugen soll der Lavastrahl 100 Fuß dick gewesen sein und eine Höhe von etwa 1000 Fuß erreicht haben. Der Osten von Hawai glich einem einzigen Feuerstrome, und die Nacht war fast tageshell erleuchtet; die Lavaströme flossen 35 engl. Meilen weit und erstarrten erst in der Nähe von Hilo, 20 Tage dauerte die Eruption in dieser heftigen Weise fort; Seeleute sahen den Feuerschein in einer Entfernung von 200 engl. Meilen, und das Getöse drang 40 Meilen weit. Im April 1868 geriet der Mauna Loa schon wieder in eine bedeutende Eruption, und im Januar 1872 hatte der Kilauea einen Ausbruch."

Auf dem australischen Festlande ist ein erloschenes Vulkangebiet in der Kolonie Victoria bekannt; sehr viel wichtiger aber sind die namentlich von Hochstetter beschriebenen Vorkommnisse auf Neuseeland. Die südliche Insel trägt an ihrer Ostküste einige nicht mehr thätige Feuerberge, besonders aber ist die nördliche Insel reich an Eruptionsstellen. Hochstetter hat hier drei vulkanische Regionen unterschieden, von denen die eine, die sogenannte Taupazone, einer von Südwesten nach Nordosten verlaufenden Spalte entspricht, welche das südöstliche Randgebirge der Insel auf der Binnenseite begleitet; sie beginnt mit dem 3749 m hohen Ruapahu im Südwesten und erreicht im Nordosten das Meer, aus dem sich in der Fortsetzung noch der Inselvulkan Whakari erhebt. Dieses Gebiet ist sehr bemerkenswert wegen der riesigen Entwickelung von heißen Quellen, Geisern und Schlammvulkanen. Eine zweite Zone nimmt den Isthmus von Auckland ein und ist von zahllosen kleinen Kratern von 100 bis 200 m Höhe bedeckt, nur einer von ihnen ragt zu 298 m empor; jeder von ihnen scheint nur eine Eruption gehabt, aber auch meist einen beträchtlichen Lavastrom geliefert zu haben. Es repräsentiert dieses Gebiet die Phlegräischen Felder Neuseelands mit stets wandernden und sich neu bildenden Eruptionspunkten. Endlich ist noch der Mount Egmont oder Taranakiberg zu nennen, ein großer erloschener Vulkan von 2522 m Höhe, der ähnlich den Feuerbergen Javas auf der Außenseite seines sehr regelmäßigen Kegels gleichmäßig verteilte, vom Regenwasser eingerissene Barancos trägt, eine Erscheinung, die übrigens auf Neuseeland vielfach auftritt (s. Abbildung, S. 174).

Zum Schlusse sind noch die Vulkane des Südlichen Eismeeres zu erwähnen, über die wir allerdings nur höchst unvollkommene Nachrichten haben. Eine kleine Gruppe von Inseln unter 64° 44′ südlicher Breite und 163° 11′ östlicher Länge von Greenwich, die Balleny-Inseln, sind vulkanisch, ebenso die Alexander-Insel unter 69° südlicher Breite. Endlich hat Roß bei seiner kühnen Fahrt nach Süden auf Victoria-Land zwei gewaltige Vulkankegel unter 76° südlicher Breite und 168° 12′ östlich von Greenwich gesehen, den Erebus (3570 m) und Terror (3110 m), von denen der erstere zur Zeit der Entdeckung eben im Ausbruche begriffen war.

Zahl der Vulkane.

Man hat vielfach versucht, die Zahl der Vulkane, welche auf der Erde existieren, zu bestimmen. Solche Arbeiten sind natürlich notwendig und nützlich, aber die Ergebnisse haben doch nur einen sehr relativen Wert; selbst die Ziffer für die thätigen Vulkane ist ganz unbestimmt, da stets neue Feuerberge entstehen oder solche entdeckt werden, die bisher der Beobachtung entgangen waren. Ferner ist es sehr problematisch und willkürlich, wie der Unterschied zwischen erloschenen und thätigen Vulkanen zu formulieren sei, und nicht minder, welche Ausbruchsessen man als selbständig bezeichnen soll, da eine Grenze zwischen einem Seitenausbruche und einem eigenberechtigten Vulkane kaum gezogen werden kann. Unter diesem Vorbehalte mag die nachfolgende, mit geringen Änderungen den Arbeiten von C. Fuchs entnommene Zusammenstellung die thätigen Vulkane aufzählen.

Festland von Europa (Vesuv)	1	Neuseeland	3
Inseln des Mittelländischen Meeres	6	Aleuten	31
Festland von Afrika	17	Kurilen	10
Kontinentale und küstennahe Inseln Afrikas	10	Japan	17
Westindien	5	Zwischen Japan und den Philippinen	8
Arabien	1	Philippinen, Molukken, Sundainseln	49
Zentralasien	(?) 2	Island	9
Submariner Vulkan bei Pondítscherri	1	Jan Mayen	2
Kamtschatka	12	Azoren	6
Alaska (Nordamerika)	3	Kanaren	3
Festland der Vereinigten Staaten	10	Kapverdische Inseln	1
Mexiko	10	Antillen	6
Zentralamerika	26	Submarine Vulkane im Atlantischen Ozeane	3
Ecuador	14	Vulkane im Indischen Ozeane	5
Peru und Bolivia	6	Vulkane im Stillen Ozeane	26
Chile	17	Südliches Eismeer	2
Feuerland	1	Summa der aktiven Vulkane	328
Neuguinea	5		

Ursachen und Vorboten vulkanischer Ausbrüche.

Die vorausgehende Übersicht hat uns Bau und Entstehung, Thätigkeit und Zerstörung der Vulkane und ihre Verbreitung auf der Erde kennen gelehrt; die thatsächlichen Erscheinungen sind besprochen, und es ist nun unsre Aufgabe, die Ursache derselben klarzulegen. Während Werner die Feuerberge nur als ganz lokale und bedeutungslose Erscheinungen betrachtet hatte, sah die spätere plutonistische Schule in denselben „die Reaktionen des feurig-flüssigen Erdinnern“ gegen die Oberfläche; die unter der nur wenige Meilen dicken Erdkruste gelegene geschmolzene Masse sollte von Zeit zu Zeit die Hülle durchbrechen und zum Ausbruche gelangen. Diese Auffassung hat wohl nur noch wenige Anhänger; wir haben in einem

frühern Abschnitte (s. S. 135) gesehen, daß die Annahme einer sehr dünnen Erdrinde unhaltbar ist, und damit entfallen alle weitern Folgerungen von selbst. Da das Erdinnere möglicherweise ganz fest oder doch mindestens als ein zähflüssiger Kern von einer sehr dicken Kruste umgeben ist, so können wir die Vulkane nicht auf eine einfache Ausquetschung von Bestandteilen des geschmolzenen Kernes zurückführen, sondern müssen eine andre Erklärung suchen.

Die erste Frage ist dabei natürlich: Aus welcher Region der Tiefe stammen die Laven? Die äußern Teile der Erdrinde bestehen größtenteils aus normalen Schichtgesteinen oder aus kristallinischen Schiefern, die eine sehr bedeutende, aber uns nicht näher bekannte Mächtigkeit besitzen, und unter ihnen liegt die Region der Gesteine, welche durch die Erstarrung der ursprünglichen geschmolzenen Massen entstanden sind. Die eine Theorie nimmt nun an, daß der Herd der vulkanischen Thätigkeit in den oberflächlichen Regionen, in den Schichtgesteinen, liege, und daß die Lava nur durch lokale Schmelzung solcher sich bilde. Es ist bekannt, daß auch in jenen Gesteinen, die durch Ablagerung aus dem Wasser entstanden sind, eine allmähliche Zunahme der Wärme nach der Tiefe stattfindet; da diese Felsarten zur Zeit ihrer Bildung natürlich keine hohe Temperatur hatten, so kann diese nur eine nachträglich erworbene sein und zwar dadurch erworben, daß die abgelagerten Schichten vom glühend heißen Erdinnern aus durchwärmt worden seien. Nimmt man an, daß an irgend einer Stelle die Mächtigkeit der Sedimente eine überaus bedeutende wird, so soll infolge dieser Durchwärmung von unten die Hitze in den tiefsten Schichten so hoch steigen, daß sie geschmolzen werden. Speziell wird dies deshalb angenommen, weil die Sedimentgesteine Wasser führen werden und die Anwesenheit desselben die Schmelzung erleichtern soll.

Es läßt sich nicht leugnen, daß diese Hypothese, die namentlich von Lyell vertreten wurde, etwas sehr Bestechendes an sich trägt; aber einer schärfern Prüfung hält sie nicht stand. Wir werden in einem spätern Abschnitte sehen, daß die Sedimentgesteine durch große Eintönigkeit ihrer Formausbildung bei sehr mannigfaltiger chemischer Zusammensetzung charakterisiert sind, während umgekehrt die Massengesteine trotz der überreichen Fülle von Abänderungen in der mineralogischen Entwickelung doch sehr gleichartig in chemischer Hinsicht sind; und speziell die Produkte unsrer Vulkane bieten in letzterer Hinsicht so geringe Abwechselung, daß die große Mehrzahl derselben sich dem früher erwähnten Bunsenschen Mischungsgesetze (s. S. 169) fügt. Unter diesen Umständen ist, wie namentlich von Richthofen gezeigt hat, die Annahme ganz unmöglich, daß die so gleichmäßig zusammengesetzten Laven durch Schmelzung der verschiedenartigen Schichtgesteine entstanden seien. Da überdies sich in keinerlei Weise beweisen oder auch nur wahrscheinlich machen läßt, daß die Vulkane gerade über Regionen sehr bedeutender Sedimentanhäufungen stehen, so darf diese Hypothese wohl als überwunden betrachtet werden.

Eine andre Hypothese ist von Mallet ersonnen worden, um die Entstehung flüssiger Laven zu erklären. Er nimmt hierzu keine wesentliche Einwirkung der innern Erdwärme in Anspruch, sondern sucht die Schmelzung ausschließlich durch in Wärme umgesetzte Arbeit zu erklären. Wenn der flüssige Erdkern sich abkühlt und infolgedessen sich zusammenzieht, so wird die äußere Rinde nicht mehr unterstützt sein, sie wird nachsinken; dabei werden nun Gesteinspartien durch den ungeheuern Druck der auflastenden Massen vollständig zermalmt, die dabei aufgewendete Arbeit wird in Wärme umgesetzt, und diese schmelzt die Gesteine und liefert gleichzeitig durch Erhitzung des in den letztern enthaltenen Wassers den Dampf, welcher durch seine Spannung die Laven nach aufwärts treibt. Der Beweis für diese Voraussetzungen wurde durch Rechnung und Experiment versucht, die in der That die Möglichkeit und Wirklichkeit dieser Vorgänge zu beweisen scheinen. Doch sind hierbei bedeutende Fehlerquellen übersehen: So hat Mallet zwar gefunden, daß Granit, Porphyr, kurz die härtesten Gesteine zermalmt werden, wenn der auf ihnen lastende Druck 14 Tonnen (14,000 kg)

auf den Quadratzoll beträgt, hat aber außer acht gelassen, daß diese Experimente mit frei liegenden Gesteinswürfeln, nicht, wie der Fall in der Natur liegt, mit Massen rechneten, die von allen Seiten von ähnlichen Massen umgeben sind. Wenn ferner berechnet wird, daß ein nicht sehr bedeutender Betrag von Senkung genügen würde, um ungeheure Mengen von Gestein zu zerdrücken und durch die so erzielte Wärme große Quantitäten zu schmelzen, so ist dabei die Senkung ganz ungerechtfertigerweise als eine momentane angenommen, während in Wirklichkeit dieser Vorgang aller Wahrscheinlichkeit nach erst im Verlaufe sehr langer Zeiträume erfolgt ist. Andre Vermutungen, z. B. diejenige, daß bei der Erstarrung der Erdkruste sich verhältnismäßig nahe unter der Oberfläche einzelne Räume mit geschmolzenem Gesteine erhalten haben, und daß diese Reservoirs das Material für die Vulkane liefern, bedürfen keiner eingehenden Widerlegung mehr.

Wenn wir uns zu dem Versuche wenden, eine Erklärung der vulkanischen Erscheinungen zu geben, so müssen wir den Herd für die vulkanischen Eruptionen offenbar innerhalb der festen Erdmasse suchen, und es kommt nun vor allem darauf an, zu zeigen, wie starre Massen wieder in Schmelzfluß geraten und wie sie den Weg an die Oberfläche finden können. Wie namentlich Reyer betont hat, besitzen geschmolzene Massen, Metalle, Gesteine ꝛc., die Fähigkeit und Eigenschaft, Gase zu absorbieren, die sie beim Erkalten unter gewöhnlichem Atmosphärendrucke wieder entweichen lassen, und alles zwingt zur Annahme, daß schon bei der Bildung und Individualisierung der Erde aus einem Dampfballe die flüssigen Massen mit Gasen durchtränkt und gesättigt wurden. Unter dem sehr bedeutenden Drucke in der Tiefe aber wird beim Erstarren der Gesteine die absorbierte Gasmenge nicht entweichen können, sondern in der verfestigten Masse zurückgehalten, und überdies erstarren die Gesteine unter jenem Drucke auch bei einer Temperatur, bei der sie sich an der Erdoberfläche noch lange geschmolzen erhalten würden.

Vergegenwärtigen wir uns nun, wie sich eine solche unter hohem Drucke bei sehr hoher Temperatur erstarrte Gesteinsmasse mit eingeschlossenen Gasen verhalten wird, wenn sie entlastet wird. Wir erfahren das zunächst durch ein bekanntes Experiment mit gewöhnlichem Paraffine, einem sehr leicht schmelzbaren Körper, der aber unter höherm Drucke bei einer Temperatur erstarrt, bei der er sonst noch vollständig flüssig ist. Öffnet man plötzlich eine an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhre, in welcher Paraffin trotz höherer Temperatur durch Druck starr erhalten worden war, so wird die Substanz im Momente, in dem die Röhre sich öffnet und der Druck nachläßt, sofort wieder flüssig. Genau ebenso wird es sich mit den Gesteinen verhalten; entsteht ein Riß in der Erdkruste, setzt eine Spalte in genügender Tiefe nieder, so werden die Gesteine entlastet und geschmolzen werden, während gleichzeitig die unter weit höherm Drucke absorbierten Gase zu entweichen beginnen. Die mächtigste Stütze erhält diese Auffassung nächst ihrer theoretischen Möglichkeit und Notwendigkeit durch die Thatsache, daß, soweit wir urteilen können, wirklich alle Vulkane auf großen Verwerfungsspalten und vorzugsweise an den Bruchrändern der Gebirge stehen.

Wir erhalten auf diese Art eine hinreichende und sehr wahrscheinliche Erklärung für die Entstehung geschmolzener Massen innerhalb der festen Erdrinde. Aber sofort erhebt sich eine zweite Frage und zwar diejenige nach den Kräften, welche die Lava aus der Tiefe zu Tage fördern. In erster Linie wirkt natürlich die Schwere der die Kluft begrenzenden Gesteinsmassen, welche nach den einfachen hydrostatischen Gesetzen ein Aufsteigen der geschmolzenen Massen in der Spalte mit sich bringt. Es ist wahrscheinlich, daß in manchen Fällen schon dieser Faktor allein genügt, um Laven an die Oberfläche zu bringen; sicher aber ist es, daß derselbe in sehr vielen Fällen nicht hinreicht. Wenn wir z. B. bedenken, daß der Pik von Teneriffa sich vom Meeresgrunde zu mehr als 11,000 Fuß Höhe über den Wasserspiegel

erhebt, so werden wir wohl diese Auftürmung nicht allein in solcher Weise erklären wollen. In der That sehen wir ja auch bei allen Ausbrüchen einen andern Faktor sehr lebhaft thätig, nämlich die verschiedenen Gase, vor allen die Wasserdämpfe, welche durch ihre Spannkraft treibend wirken. Es wird wohl auch unter allen Geologen volle Einstimmigkeit darüber herrschen, daß den Dämpfen bei der Erzeugung von Eruptionen eine sehr wichtige Rolle zufällt. Dagegen sind die Ansichten geteilt bezüglich der Frage, welcher Betrag von Wirkung denselben beizumessen sei. Von manchen Seiten geht man so weit, das Hinzutreten von Wasser zu den geschmolzenen Massen und die darauf folgende Dampfbildung als die einzige Grundursache des Vulkanismus zu betrachten, allein gewiß sehr mit Unrecht. Es heißt das die Spannkraft der Dämpfe sehr überschätzen, und man vergißt dabei vollständig, daß der Hauptbetrag der Steigung der Laven einfach durch die Wirkung der Schwere erfolgen muß; dagegen wird man das Richtige treffen, wenn man behauptet, daß für das Stattfinden der Einzelausbrüche in der Regel die Dämpfe das zunächst Veranlassende seien, und daß alle die explosiven Paroxysmen bei den Eruptionen ihnen zuzuschreiben sind.

Es erhebt sich dabei die Frage, aus welcher Quelle die Dämpfe stammen, welche bei den vulkanischen Erscheinungen am meisten wirksam sind. Wir haben gesehen, daß das Magma Gase absorbiert enthält und diese bei Verminderung des Druckes und eintretender Abkühlung und Erstarrung abgibt; anderseits bringen in Klüften und Spalten Wasseradern in die Tiefe, Wasser sickert durch alle porösen Gesteine und wird so mit der aufsteigenden Lava in Berührung kommen. Es ist nun die Frage, welcher von beiden Quellen die größere Bedeutung zukommt. Gewöhnlich wird die Hauptwirksamkeit dem von oben eingedrungenen Wasser zugeschrieben, und es lassen sich auch in der That manche beachtenswerte Gründe für diese Theorie beibringen: in erster Linie ist die schon oben hervorgehobene Lage der Vulkane am Meere zu nennen; von etwa 145 Vulkanen, welche seit dem Jahre 1750 Ausbrüche gehabt haben, liegen 100 auf Inseln und von den andern die Mehrzahl dicht am Meere. Es ist das offenbar eine fundamental wichtige Erscheinung, die jedenfalls bei der Beurteilung der vorliegenden Frage in hohem Grade berücksichtigt werden muß. Besonders müssen wir uns mit der Frage beschäftigen, ob die Nähe des Meeres oder eines sehr großen Binnensees als ein unbedingtes Erfordernis für das Auftreten von Vulkanen betrachtet werden muß. Man hat früher die zentralasiatischen Vorkommnisse als einen Beleg dafür betrachtet, daß dies nicht der Fall ist; die neuern Nachrichten haben jedoch, wie wir gesehen haben (s. S. 225), ergeben, daß es sich bei den meisten angeblich noch thätigen Eruptivpunkten im Thianschan, deren Existenz man aus Angaben chinesischer Schriftsteller gefolgert hatte, um brennende Kohlenlager handle. Doch ist die Eruption des Vulkanes Boschan nicht widerlegt, und Stoliczka hat wirkliche Krater im Thianschan gefunden. Ferner ist kein Grund vorhanden, an der Existenz der ebenfalls weit im Innern Asiens bei der Stadt Mergen in der Mandschurei gelegenen, etwa 160—170 geogr. Meilen vom Meere entfernten Vulkane zu zweifeln.

Aber abgesehen von diesen Punkten, die noch der Bestätigung bedürfen, sind noch andre vorhanden, die genügend beweisen, daß die Nähe des Meeres kein unbedingtes Erfordernis ist. Vor allen sind es die amerikanischen Vulkane, die für die Entscheidung dieser Frage wichtig sind. Die gewaltigen Bergriesen von Ecuador stehen in zwei parallelen Reihen, die durch das Thal von Quito voneinander getrennt sind. Die Vulkane der östlichen Reihe, der Cotopaxi, der Antisana 2c., sind gegen 30 Meilen vom Meere entfernt und durch eine Bergkette mit Höhen von 20,000 Fuß von diesem getrennt; der Tolima liegt 40 Meilen vom Ozeane. Selbst der Sangai, soweit wir wissen, der thätigste Vulkan der ganzen Erde, liegt noch jenseit der östlichen Kette im Gebiete des Amazonenstromes,

ist also durch die beiden Hauptketten der Andes vom Meere geschieden. Der Popocatepetl in Mexiko ist 33, der neuentstandene Vulkan bei Ajusco 36, der Punmahuidda in La Plata sogar an 50 Meilen vom Meere entfernt, und in ebenso bedeutenden Abständen vom Ozeane liegen manche der Vulkane in Peru und Bolivia. Es sind das immerhin schon Verhältnisse, als ob man einen bei Wien oder Konstanz gelegenen Vulkan mit dem Mittelländischen Meere, einen solchen bei Gotha mit der Nordsee in Verbindung bringen wollte, und man kann sagen, daß im Durchschnitte die südamerikanischen Vulkane dem Stillen Ozeane nicht näher liegen als der Großglockner der Adria. Noch merkwürdiger sind aber, wenn die Angaben sich bestätigen, die Verhältnisse in Nordamerika, wo im Jahre 1881 in Idaho am Clear Water River ein bis dahin unbekannter Vulkan in Thätigkeit getreten sein soll, der etwa 110—120 geogr. Meilen vom Meere abliegt, etwas weiter als Moskau von der Ostsee. Mag auch diese letzte Angabe noch der Bestätigung bedürfen, so genügen doch Thatsachen aus Mexiko und Südamerika, daß die Nähe des Ozeanes keine unbedingte Notwendigkeit für das Auftreten von Vulkanen ist, wenigstens nicht in dem Sinne, daß der direkte Zutritt des Meerwassers zu dem unterirdischen Herde vorausgesetzt werden müßte. Trotzdem aber bleibt die Thatsache bestehen, daß die große Mehrzahl der Vulkane in unmittelbarer Nähe großer Wasserbecken steht, und daß ebenso für viele erloschene Feuerberge, die im Inlande liegen, entweder bewiesen, oder doch wahrscheinlich gemacht werden kann, daß zur Zeit ihrer Ausbrüche entweder das Meer zu ihnen hinreichte, oder große Binnenseen in ihrer Nähe waren. Dieser Thatsache muß jedenfalls Rechnung getragen werden, und es fragt sich nun, worin der Einfluß dieser räumlichen Verknüpfung bestehen mag.

Für die Annahme, daß die Hauptmasse der Gase und Dämpfe bei den Eruptionen dem Meerwasser entstammen, hat man angeführt, daß die chemische Zusammensetzung dieser Gase ganz mit der des Meerwassers und seiner Salze übereinstimme; allein dies ist vollkommen falsch. In erster Linie bleiben die großen Mengen von Kohlensäure, welche ausströmen, unerklärt. Ebenso verhält es sich mit der wenigstens an einigen Punkten in Massen auftretenden Borsäure, und der Versuch, das Auftreten von Kupfer, Blei ꝛc. unter den Sublimationsprodukten auf die Spuren dieser Stoffe im Meerwasser zurückzuführen, ist wohl ein durchaus verfehlter. Auf der andern Seite sind Brom und Jod im Meerwasser in weit stärkerm Maße vertreten, spielen aber in den Sublimationsprodukten gar keine Rolle. Überdies ist es auch sehr unwahrscheinlich, daß das von oben hereindringende Wasser das ganze Magma in ziemlich gleichmäßiger Weise durchtränke.

Es verbindet sich aber mit dieser Ansicht noch eine andre unrichtige und unklare Vorstellung. Es ist offenbar gar kein Grund für die Annahme vorhanden, daß gerade unter dem Meere so unverhältnismäßig viel Wasser in die Tiefe dringe; man darf sich doch nicht vorstellen, daß am Meeresboden überall Öffnungen vorhanden sind, welche das Wasser in Menge nach abwärts führen. Man kann vielmehr annehmen, daß in einer aus klüftigem Kalke zusammengesetzten, nicht eben regenarmen Gegend mehr Wasser in die Tiefe sickert als im Meere, wo die nach abwärts führenden Spalten weit eher durch das feine, sich ablagernde Sediment verlegt werden. Wenn wirklich unter dem Meeresboden eine so intensive Zirkulation von Salzwasser stattfände, so wäre es gar nicht denkbar, daß auf manchen sehr kleinen Inseln Quellen von süßem Wasser hervorbrechen, die offenbar vom naheliegenden Festlande aus gespeist werden. Es soll nicht bestritten werden, daß solches Wasser zur emporsteigenden Lava dringt und verdampft; aber eine tief greifende Wirkung als Verursacher der Eruptionen kann demselben nicht zugestanden werden.

Warum aber sind trotzdem die meisten Vulkane dicht am Meere gelegen? Wir müssen hier in erster Linie berücksichtigen, daß durchaus nicht überall am Meere Feuerberge auftreten, sondern nur da, wo an der Küste mächtige Bruchlinien verlaufen. Wie es sich mit

den weit im Ozeane gelegenen Inseln in dieser Richtung verhält, wissen wir natürlich nicht; aber bezüglich der küstennahen Inseln, welche Reihenvulkane tragen, können wir mit Sicherheit behaupten, daß sie ebenfalls Brüchen entsprechen. Das Wesentlichste, die Grundbedingung für vulkanische Erscheinungen, ist also das Vorhandensein einer Spalte, nicht die Nähe des Meeres. Man wird auch sagen können, daß eine Spalte um so wahrscheinlicher Anlaß zum Auftreten vulkanischer Erscheinungen geben wird, je intensiver sie ist, und je weiter sie in die Tiefe dringt. Solche Maxima der Störung, die auch in der That sehr oft mit Eruptivgesteinen in Verbindung stehen, finden wir aber am häufigsten da, wo am Rande eines sich aufstauenden Gebirges ein Stück der Erdrinde in die Tiefe sinkt, ein sogenanntes Senkungsfeld sich bildet, wie solche die Po-Ebene gegenüber den Alpen, die ungarische Ebene bei den Karpaten, das Tyrrhenische Meer an den Apenninen, ferner das Ägeische, das Karibische, das Japanische Meer darstellen. Den Rändern solcher Senkungsfelder gehören auch, wie später gezeigt werden soll, die große Mehrzahl der Vulkane an. Da aber das Wasser natürlich immer die tiefsten Stellen aufsucht, so werden solche Senkungsfelder entweder vom Meere überflutet, oder, wenn dieses keinen Zutritt hat, von Binnenseen ausgefüllt. Das Auftreten der Vulkane an großen Wasserbecken stellt also nur eine sekundäre Erscheinung dar, beide sind in keinem unmittelbaren ursächlichen Zusammenhange.

Fassen wir in kurzen Zügen nochmals das Wesen einer Eruption zusammen. In der starren Erdkruste befinden sich feste Massen, die unter sehr hohem Drucke erstarrt sind und große Mengen von Gasen absorbiert enthalten. Wird durch die Bildung einer Spalte eine sehr bedeutende Entlastung einer solchen Masse herbeigeführt, so schmilzt sie und steigt, den Regeln der Hydrostatik entsprechend, in der Spalte auf, ohne jedoch, wenigstens in der Mehrzahl der Fälle, die Oberfläche erreichen zu können; um an diese zu gelangen, bedarf es gewöhnlich der Spannung überhitzter Dämpfe, die ursprünglich in dem Magma enthalten waren und nun frei werden. Die Bedeutung des von oben zudringenden Wassers ist in der Regel eine sehr untergeordnete, wird aber wahrscheinlich bei der Hervorbringung der die Ausbrüche einleitenden Explosionen eine große.

Man hat vielfach Versuche gemacht, das Auftreten von Eruptionen der Zeit nach mit verschiedenartigen Erscheinungen in Verbindung zu bringen; man hat gefunden, daß der Herbst verhältnismäßig am wenigsten Ausbrüche zeigt, daß der Stand des Barometers, die Stellung des Mondes zur Erde, das Auftreten von Nordlichtern, Sternschnuppenschwärmen &c. mit Vulkanausbrüchen in Beziehung stehen. Manche dieser Verknüpfungen mögen in Wirklichkeit existieren, im allgemeinen aber muß man sich dabei immer erinnern, daß die Zahl der Beobachtungen, auf welchen diese Annahmen beruhen, eine zu geringe ist, als daß sie eine gewisse Sicherheit bieten könnten. Es ist z. B. an sich sehr wahrscheinlich, daß bei niederm Barometerstande mehr Eruptionen stattfinden als bei hohem; sinkt der Luftdruck, so wird dadurch auch der Druck, unter dem die vulkanischen Gase stehen, um ein Geringes vermindert und die Eruption dadurch erleichtert. Beim Stromboli scheint ein solcher Zusammenhang erwiesen, bei andern Vulkanen ist wenigstens kein Grund einzusehen, warum niedriger Barometerstand nicht auch bei ihnen den Ausbruch erleichtern sollte. Sehr viel problematischer ist der Einfluß, welchen der Stand des Mondes üben soll, wenn wir uns auch wohl denken können, in welcher Weise ein solcher möglich wäre. Der Mond erzeugt bekanntlich im Meere Ebbe und Flut, und es ist wahrscheinlich, daß auch die Erdfeste in einem sehr geringen Maße eine solche Bewegung mitmacht. Unter dieser Voraussetzung ist es dann ganz verständlich, daß bei jenen Mondständen, die im Meere die stärkern Fluten hervorrufen, auch eine etwas bedeutendere Gezeitenbewegung in der Erdrinde entstünde und in diesem Zustande das

Aufsteigen der Eruptivmassen erleichtert würde. Wenn man allerdings versucht hat, an eine Beziehung zwischen Ausbrüchen und Mondphasen die kühne Spekulation von einem innern Erdozeane von geschmolzenen Gesteinen zu knüpfen, welche Ebbe und Flut haben und, dabei jeweils an die äußere Kruste anbrandend, Erdbeben und Vulkane erzeugen, so gehören solche Ausflüge der Phantasie unter die Träume der Wachenden.

Durch Kombination aller möglichen Erscheinungen, die man als Vorboten von Ausbrüchen betrachtet, hat man diese vorherzusagen versucht. Als solche Anzeichen gelten Erdbeben, Austrocknen der Brunnen in der Nähe eines Vulkanes oder auffallende Veränderungen ihres Wassers, unterirdisches Rollen und Donnern, Aufregung im Meere. Der Stand des Mondes und der Luftdruck werden bisweilen berücksichtigt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß ein scharfer und lokalkundiger Beobachter, der einen Berg in der Nähe seines Wohnortes genau kennt, manchen Ausbruch desselben voraussehen wird; aber wie die Erfahrung zeigt, kommt es sehr viel häufiger vor, daß ein angezeigter Ausbruch nicht eintritt, und bisweilen stellt sich auch eine Katastrophe der großartigsten Art ganz überraschend ein. So war z. B. Palmieri, der ein Menschenalter hindurch den Vesuv studiert und beobachtet hatte, am Vorabende der gewaltigen Eruption von 1872 vom Observatorium nach Neapel hinabgegangen, weil allen Anzeichen nach für die folgende Nacht keine Erscheinung von Wichtigkeit zu erwarten stand, und wenige Stunden später zerriß der Kegel von oben bis unten, und die mächtigsten Lavamassen stürzten aus dem geborstenen Krater hervor. Man darf wohl sagen, daß alle Vorhersagungen von Vulkanausbrüchen bis jetzt noch kein andres Resultat ergeben haben, als die Umwohner in überflüssiger Weise zu beunruhigen.

---

4. Erdbeben.

Inhalt: Allgemeiner Charakter der Erderschütterungen. — Zahl und Dauer der Erdbeben. — Verbreitung der Erdbeben. — Natur und Wirkung der Stöße. — Seebeben. — Die Sintflut. — Ursachen der Erdbeben. — Untersuchungsmethoden.

Allgemeiner Charakter der Erderschütterungen.

„Das erste Erdbeben, welches wir empfinden“, sagt Humboldt, „hinterläßt einen unaussprechlich tiefen und ganz eigentümlichen Eindruck. Was uns dabei so wundersam ergreift, ist besonders die Enttäuschung von dem eingebornen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren, der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Kontrast zwischen dem beweglichen Elemente des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens gewöhnt, auf dem wir stehen. Alle Zeugnisse unsrer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun plötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen frühern Lebens. Enttäuscht sind wir über die Ruhe der Natur, wir fühlen uns in den Bereich zerstörender, unbekannter Kräfte versetzt. Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt.“

Vom rein menschlichen Standpunkte aus, der in den Erdbeben eine stets drohende Quelle namenlosen Elendes sieht, sind nur die Folgen, welche die Einwohner der erschütterten Gegend getroffen haben, der Gegenstand der Furcht oder des teilnehmenden Interesses. Der Geolog aber muß tiefer eindringen, er muß unbeirrt von der Vernichtung, die Menschenleben und Menschenwerk getroffen hat, die Naturerscheinung verfolgen und in ihr eine jener



Polla in Kalabrien nach dem Erdbeben vom Jahre 1857 (nach Mallet).

Bewegungen zu erlauschen suchen, durch welche die Umgestaltung der Erdoberfläche ihren langsamen, aber stetigen Gang geht; in den Ruinen zerstörter Wohnungen sucht er aus der Richtung der Mauerrisse, aus der Art, wie der Einsturz erfolgt ist, die Direktion und Natur des Stoßes zu ermitteln. So werden auch wir diesen Weg verfolgen und in dem Erdbeben nur die Bewegungserscheinung betrachten, die wir nach Ursache und geologischer Wirkung untersuchen. Die Folgen, die sie für den Menschen, seine Wohnungen 2c. mit sich bringt, können wir nur nebenbei berücksichtigen.

Streng genommen, ist jede Erschütterung des festen Bodens ein Erdbeben. Eine explodierende Pulvermine, ein Bergsturz, der Zusammenbruch einer abgebauten und verlassenen Strecke in einem Bergwerke, ja ein Lastwagen, der über das Pflaster fährt, sie alle bringen Bewegungen hervor, die sich von dem, was man im engern Sinne als Erdbeben bezeichnet, nur durch die Ursache, nicht durch die Wirkung unterscheiden. Es lassen sich Fälle vorführen, in welchen die Bewohner einer Stadt überzeugt waren, daß ein leichtes Erdbeben stattgefunden habe, bis nach einiger Zeit die Nachricht eintraf, daß ein entferntes Pulvermagazin in die Luft geflogen sei und den Boden ringsum in wellenförmiges Zittern gebracht habe. Man hat sich jedoch daran gewöhnt, Stöße der letztern Art nicht unter die Erdbeben zu rechnen, sondern nur solche Erschütterungen, welche durch im Innern der Erde wirksame, der unmittelbaren Beobachtung entzogene Kräfte hervorgebracht werden, welcher Art diese letztern auch sein mögen. Es ist an sich klar, daß unter diesen Umständen Erdbeben auf sehr verschiedene Weise hervorgerufen werden können, und es wird die Aufgabe des Geologen sein, in jedem einzelnen Falle die Ursache zu erforschen.

Von sehr verschiedener Intensität ist die Stärke der Stöße. Von den furchtbarsten Erschütterungen, denen auch das solideste Gebäude nicht zu widerstehen vermag, welche in einer Sekunde eine Stadt zum Trümmerhaufen machen, unter deren Einflusse der Boden wogt wie eine vom Sturme erregte Wasserfläche, welche ungeheure Felsmassen, alles verschüttend, von den Flanken der Berge loslösen und das Meer bis in eine Entfernung von mehr als 1000 geogr. Meilen in Aufregung bringen, von diesen heftigsten Paroxysmen durchläuft die Stärke der Stöße alle Mittelstufen bis zum leisen Erzittern, das nur unter günstigen Verhältnissen, bei vollständiger Ruhe ringsum in den obern Stockwerken der Gebäude eben noch bemerkt werden kann. Selbst diese leisen Schwankungen, die z. B. in den so stark und oft heimgesuchten Gegenden des westlichen Südamerika gar nicht als echte Erdbeben gelten, sondern als „Tremblores" von den „Terremotos" unterschieden werden, sind wenigstens für unser Gefühl noch bemerkbar; aber außerdem scheint noch eine sehr viel größere Zahl leichter Zuckungen, unsern Sinnen nicht mehr wahrnehmbar, die Erdrinde zu durchlaufen. Schon früh hatte man beobachtet, daß häufig vor Erdbeben sich der Tierwelt eine eigentümliche Unruhe bemächtigt. Es wird berichtet, daß die Vögel scheu umherflattern, verschiedene Haustiere auffallende Zeichen von Angst erkennen lassen, namentlich auch, daß Maulwürfe, Ratten und andre Bewohner von Erd- oder Mauerlöchern ihre Schlupfwinkel verlassen und sich an die Oberfläche flüchten. Viele dieser Erzählungen mögen nur Ausgeburten der aufgeregten und darum noch mehr als gewöhnlich zu einem gewissen Mystizismus neigenden Phantasie sein; allein solche Beobachtungen sind so zahlreich und rühren, wenigstens teilweise, von so glaubwürdigen Leuten her, daß man an ihrer Richtigkeit nicht ganz zweifeln kann. Natürlich darf man aber dann die Ursache nicht in einer instinktiven Prophetengabe der „unvernünftigen Kreatur" suchen, sondern darin, daß den deutlichen Stößen ein leises Erzittern des Bodens vorausgeht, welches die mit sehr feinen Sinnen begabten Tiere schon beunruhigt.

Zahl und Dauer der Erdbeben.

Man weiß jetzt durch die Beobachtung sehr empfindlicher Instrumente, daß leise Zuckungen der Erde ungemein häufig vorkommen, und daß z. B. in manchen Distrikten Italiens der Boden in beständigem Vibrieren begriffen ist. Gewiß würde man ein Gleiches in den meisten oft erschütterten Ländern, wie Griechenland, Kleinasien, Syrien oder an der Westküste von Südamerika, finden, wenn man dort solche Apparate zur Verfügung hätte. Aber selbst, wenn man nur die unmittelbar fühlbaren Stöße berücksichtigt, findet man, daß Erdbeben zu den häufigen und verbreiteten Erscheinungen gehören, und nur der Umstand, daß wir in einer an Erschütterungen, namentlich an solchen etwas heftigerer Art, sehr armen Gegend wohnen, läßt uns in denselben etwas Außergewöhnliches sehen. Wir genießen das Glück, daß unsre Stätten auf einer breiten Zone „tiefen Erdfriedens" erbaut sind, die sich von der atlantischen Küste Frankreichs und Englands bis weit nach Asien gegen den Baikalsee erstreckt. Aber selbst in den Ländern der intensivsten Kultur gehen die meisten kleinern Störungen vorüber, ohne allgemein bekannt zu werden, wie das aus dem Beispiele der Schweiz hervorgeht. Nach den jährlich erscheinenden Erdbebenkatalogen von C. Fuchs waren in diesem Lande jährlich einige wenige Bodenschwankungen zu verzeichnen; neuerdings ist aber dort namentlich durch Forel und Heim die Erdbebenbeobachtung systematisch organisiert worden, und gleich für 1880, das erste Jahr, haben diese Beobachtungen nicht weniger als 59 Stöße aufzuweisen, ohne daß dasselbe nach der Stärke der Bewegungen als eine besonders intensive Erdbebenperiode bezeichnet werden könnte. Der große Überschuß beruht zum guten Teile darauf, daß eine Menge kleiner lokaler Bewegungen gemeldet wurden, die vor Bestehen der Organisation nicht zur allgemeinen Kenntnis kamen. Sind schon in unsern Gegenden die Verhältnisse dieser Art, so werden wir natürlich aus fernen und wenig kultivierten Ländern nur von einem noch sehr viel geringern Bruchteile der vorkommenden Erschütterungen hören, zumal man in unruhigen Gegenden leichte Stöße, die bei uns schon allgemeines Aufsehen erregen, überhaupt gar nicht beachtet. Das Thal von San Salvador in Zentralamerika heißt bei den Umwohnern seiner zahllosen Erdbeben wegen „Cuscutlan", die Hängematte; aber über die einzelnen Stöße bringt sehr selten eine Nachricht zu uns. Trotzdem wir also nur von einem verschwindend kleinen Teile der Bewegungen erfahren, ja über die Vorkommnisse des Meeresgrundes nur höchst selten Andeutungen erhalten, konnte Kluge für die Zeit von 1850 bis 1857 nicht weniger als 4620 Erderschütterungen verzeichnen. C. Fuchs schreibt: „Vom Jahre 1865 bis zum Schlusse des Jahres 1873 sind mir 1184 verschiedene Erdbeben bekannt geworden, die an 517 verschiedenen Orten stattfanden. In Deutschland, welches entschieden zu den an Erdbeben ärmsten Ländern gehört, ereigneten sich (einschließlich Deutsch-Österreichs) in dieser Periode Erdbeben an 94 verschiedenen Orten. Nur sehr wenige jener 1184 Erdbeben bestanden in einem einzelnen Stoße, viele dauerten wochen- und monatelang, manche sogar mehrere Jahre. An jedem einzelnen Tage dieser neunjährigen Periode sind einzelne oder mehrere Erschütterungen verzeichnet. Vom 1. bis 6. Mai kamen allein in der Stadt Jokohama 123 Erdstöße vor, und als Battang in China am 10. April 1871 zerstört wurde, folgten sich die Erderschütterungen fast ununterbrochen zehn Tage lang, so daß der Boden manchmal wie ein Schiff auf stürmischer See schwankte. Bei einem Erdbeben auf der Insel Hawai, welches 1868 mehrere Monate anhielt, zählte man allein im März mehr als 2000 Erderschütterungen, ohne die schwächern zu berücksichtigen. Es vergeht demnach kein Tag, keine Stunde ohne Erdbeben; man kann sogar ohne Übertreibung behaupten, daß die Erdoberfläche ununterbrochen in jedem Augenblicke an irgend einer Stelle erschüttert wird und in Bewegung begriffen ist."

Es wurde eben erwähnt, daß nur verhältnismäßig selten ein einziger Stoß auftritt; in der Regel folgen mehrere Bewegungen aufeinander. Häufig wird eine Erdbebenperiode dadurch eingeleitet, daß entweder ganz unvorbereitet oder nach einigen leisen Schwankungen die Haupterschütterung eintritt, die entweder nur aus einem oder aus wenigen rasch aufeinander folgenden Schlägen besteht und meist in der Zeit weniger Sekunden die gewaltigste Zerstörung anrichtet; so war es auf Chios, wo am 3. April 1880 nur eine kurze, leichte Erschütterung als Warnung der Katastrophe vorausging. Beim Erdbeben von Agram trat ganz ohne vorherige Vibration die stärkste Erschütterung, eine mehrere Sekunden dauernde Wellenbewegung, ein, welche alles Unheil anrichtete, während die spätern Schwankungen, die noch bis heute nicht ganz aufgehört haben, zwar die Bevölkerung in hohem Grade ängstigten, aber nicht mehr die frühere Stärke erreichten und kaum einen Schaden stifteten; ähnlich verhielt es sich in Lissabon 1755 (s. S. 272). Bei dem Erdbeben, das am 26. März 1812 die Stadt Caracas in Südamerika vernichtete, fanden im Laufe von 20 Sekunden drei gewaltige Konvulsionen statt, welche alles zerstörten. Nach diesem Anfangsparoxysmus dauert häufig die Unruhe monate- und jahrelang an, und die Zahl der einzelnen Bewegungen, die solche „Erdbebenschwärme" zusammensetzen, ist dann eine sehr große. Das Erdbeben von Groß-Gerau in Hessen in den Jahren 1869 und 1870, die bekannten Erscheinungen von Visp im Kanton Wallis in der Schweiz, die neuen Erdbeben von Agram, Belluno, Chios sind einzelne Beispiele dafür, und man zählt dabei die Menge der Zuckungen nach Tausenden. Ausnahmen von der Regel, daß die ersten Stöße die heftigsten sind, sind nicht häufig, doch kommen sie vor; so war bei dem Erdbeben von 1590 in Niederösterreich ein heftiger Stoß am 29. Juni fühlbar, während der stärkste erst im September desselben Jahres folgte.

Wohl der bemerkenswerteste dieser Erdbebenschwärme, über den wir eingehende Nachricht haben, ist derjenige, welcher im Jahre 1870 die Provinz Phokis in Griechenland erschütterte und in fast beispielloser Intensität drei Jahre lang anhielt. Wir verdanken Julius Schmidt einen Bericht, der zwar wegen der Teilnahmlosigkeit der Bevölkerung bei der Sammlung von Nachrichten große Lücken enthält, aber doch ein überaus interessantes Bild von dieser furchtbaren Erscheinung gibt. Derselbe lautet:

„Nur selten finden wir in der Geschichte der Erdbeben so bedeutende Ereignisse verzeichnet, welche, wie die Verwüstung der Provinz Phokis, mit größter Gewalt ihren Anfang nahmen und mit zahllosen, darunter oft mächtigen Erschütterungen länger als drei Jahre anhielten. Viele der bis jetzt erhobenen Fragen der Wissenschaft, viele Experimente hätten zu reichen Ergebnissen führen müssen, wenn auch nur ein kundiger Beobachter in so langer Zeit gewesen wäre, der sich mit unerschütterlicher Ausdauer dem Studium der wechselvollen, oft gefährlichen Erscheinungen gewidmet hätte. Es ist aber nichts geschehen, und das wenige, was ich selbst vier Tage nach dem Erdbeben in jenem Lande beobachtet und ermittelt habe, ist verschwindend dem gegenüber, was nun unwiederbringlich für die Wissenschaft verloren ist. Am 29. und 30. Juli 1870 erbebte die Insel Lissa, und zugleich nahmen die Erdbeben in Hellas ihren Anfang, zunächst schwach, unbestimmt, doch über große Räume verbreitet. Am Abend des 31. Juli erfolgte eine Erschütterung von ernsterm Charakter, deren Wirkung in Euböa, Attika und im Peloponnes nicht besonders auffiel, in Phokis aber den Einwohnern nach Stärke und Dauer einen drohenden Eindruck machte. Aber niemand ließ sich dadurch warnen, denn hier sind die Erdstöße überhaupt sehr häufig, und die Unglücksfälle von 1817 und 1861 waren von den meisten schon längst vergessen. In der darauf folgenden Nacht schliefen sehr viele der Hitze wegen im Freien, und so war der Verlust an Menschenleben nicht so groß, als er zur Winterszeit gewesen wäre. In der Frühe des 1. Augustes, gegen $2^3/_4$ Uhr, begann der furchtbare Vertikalstoß, dem sogleich

drehende und schwingende Bewegungen von größter Heftigkeit folgten, 15—20 Minuten anhaltend, nicht angezeigt durch den Donner, der später seiner großen Häufigkeit wegen kaum noch beachtet wurde. In wenigen Sekunden sanken in Trümmer Itea, Xiropigadi, Chrysso, Delphi, dann Teile von Arachova und Amphissa nebst manchen andern Orten, isolierten Kirchen und Klöstern, von denen kaum mehr als vorübergehend einmal die Namen genannt wurden. 19 Minuten später erbebte die Erde abermals mächtig, und um 1½ Uhr nachmittags warf ein ungeheurer Stoß den Rest der Trümmer zu Boden und veranlaßte am Parnaß, am Korax und Kirphis unerhörte Bergstürze. Ungezählte Bewegungen der Erde, Donnern und mancherlei Getöse, Tag und Nacht nicht aussetzend, dauerten den ganzen August, September und Oktober. Viele der größern Stöße erschütterten fast ganz Griechenland und Teile der Türkei; am 25. Oktober, als die meisten Bewohner im Freien waren, um die für sie erschreckende Erscheinung eines roten Nordlichtes zu betrachten, erfolgte ein Erdstoß von vernichtender Gewalt, so daß die Stadt Amphissa, die sich am 1. August noch ziemlich gut erhalten hatte, in einem Augenblicke zum größten Teile zertrümmert wurde, und daß zu Itea, Delphi ꝛc. jeder die Bretterhütten verließ, von denen noch viele zerrissen wurden. Alles, was man im Laufe der letzten 10—11 Wochen wieder neu erbaut hatte, ward wieder zerstört. Es kam der Winter, und es mußten die Phokier unter den bedauerlichsten Verhältnissen in Holzverschlägen oder im baufälligen Mauerwerke eine schwere Zeit durchleben, fortwährend erschreckt durch neue bedeutende Erdstöße und ohne Hoffnung, daß die Bebung des Bodens bald aufhören werde. Wie weit die Zerstörungen reichten, wie hoch man den Verlust geschätzt habe, wie viele erschlagen oder verwundet wurden, nichts ist durch Druckberichte hinlänglich bekannt geworden; ich glaube aber, daß im ganzen wohl 100 umkamen und zwar meist am 1. August, denn später war man vorsichtig und auch in den Notwohnungen mehr gesichert.

„Man zählte vom 1. August 1870 bis zum 1. August 1873 nur 35 sehr große Stöße, oder vielmehr nur diese wurden in der Zeitung erwähnt oder mir brieflich mitgeteilt; ich bin aber darüber sicher, daß auf diese Weise kaum der zehnte Teil mir bekannt ward, und daß man für die drei Jahre 300—320 schwere Erdbeben ohne Übertreibung rechnen kann. Hinsichtlich der Häufigkeit der Stöße zeigte sich im zweiten Jahre keine sonderliche Abnahme, doch wurden sie im ganzen schwächer; aber die Felsstürze und Donner gaben denen von 1870 wenig nach. Im Jahre 1871 wagte man noch nicht, steinerne Häuser zu bewohnen. Bis zum Winter 1870 hörte die Unruhe der Erde niemals ganz auf, und im Orte Montlia, zwischen Parnaß und Kirphis, fand man, daß drei Monate lang ein Ei, das man auf eine Metallplatte gelegt hatte, in steter zitternder Bewegung blieb. In den ersten drei Tagen gab es wenigstens in jeder dritten Sekunde ein Erdbeben, so daß täglich gegen 29,000 zu rechnen wären.

„Schon am 1. August hatte die Regierung Maßregeln zum Schutze der Unglücklichen beraten; am 3. August wurde beschlossen, eine Kommission nach Phokis zu senden, um neben andern Erhebungen auch wissenschaftliche Beobachtungen zu machen; ich verließ mit Professor Christomanos noch an demselben Tage Athen; in der Frühe des 4. Augustes kamen wir nach dem Isthmus von Korinth und um 4 Uhr abends an die Küste von Phokis nach Itea. Da dieser Ort vollständig zertrümmert war und noch keine Zelte da waren, wählte ich mir in Rücksicht auf mögliche Anschwellung der See 200 Schritt östlich von Itea einen 3 oder 4 m hohen Hügel zum Biwak. Solange wir noch auf dem Isthmus, dann im Verlaufe des Tages auf dem Meere waren, fühlten wir kein Erdbeben und hörten keine Detonation. Sobald wir Itea nahekamen, hörten wir ungeachtet des lärmenden Dampfers die ersten unterirdischen Donner, und als wir die sehr verwüstete Anlegebrücke betraten, spürten wir Erdbeben in Menge, die indessen ohne besondere Stärke waren. Nach Einrichtung des Biwaks begann

ich die erste genauere Beobachtung und ersah dazu den Boden unter einem Feigengebüsche; indes war der Wind noch zu lebhaft, das Geräusch der großen Blätter des Baumes störte, so daß alle feinern Tonarten und die geringern Bewegungen der Erde nicht sicher aufgefaßt werden konnten. Unter diesen Verhältnissen zählte ich in 35 Minuten acht Erdbeben und noch mehr Detonationen von sehr mäßiger Stärke und Dauer. Nach Anbruch der Nacht war es nach Verminderung des Windes stiller, und in 10 Minuten zählte ich 16 Detonationen und verschiedene Schwingungen des Bodens. Gegen Mitternacht verabschiedete ich alle überflüssigen Personen und richtete es so ein, daß ich die Nacht allein an der Nordseite des kleinen Hügels zubrachte, um in aller Ruhe die Erdbeben beobachten zu können. In einer Stunde zählte ich 71 Detonationen, von denen mindestens 16 mit deutlichen, zum Teile lebhaften Erdbeben verbunden waren; ich hatte aber den Eindruck, daß viele schwache Bebungen des Bodens doch der Wahrnehmung entzogen wurden, denn das Sausen des schwachen Windes hielt noch immer an, und mancherlei Lärm störte in der Beobachtung.

„Nach 1 Uhr gedachte ich kurze Zeit zu ruhen, um später die Zählungen fortzusetzen; aber kaum hatte ich mich niedergelegt, als um 1 Uhr 27 Minuten 36 Sekunden ein Erdbeben von furchtbarer Gewalt alles ringsum in Schrecken und Bewegung versetzte. Die Luft war ganz still, ein großer, doch weicher, tiefer Donner, ähnlich dem des Marinegeschützes, wenn es aus der Entfernung von 1½ Stunde Weges gehört wird, ging wenige Zehnteile einer Sekunde dem mächtigen Vertikalstoße voraus. Wie ein vom Sturme aufgeblähter Teppich schwoll der Boden empor, nicht nach Art einer Sprengung, sondern viel langsamer und trotz der erstaunlichen Wucht gewissermaßen sanft, mehr andrängend als stoßend. Ich fühlte mich in die Höhe geworfen, ohne doch das Gefühl ähnlich raschen Herabsinkens zu haben, da die Geschwindigkeit für diese Art von Bewegung doch nicht groß genug war und es vielleicht 2—3 Sekunden dauerte. Ein Nachhall mit schwachen Vibrationen erfüllte die nächsten 8—10 Sekunden. Indem ich mich rasch faßte und aufstand, Blick und Gedanken besorgt auf die nahe See gerichtet, erhielt ich jetzt den vollen Eindruck von den viel umfassenden Wirkungen des Erdbebens. In dem Augenblicke des anstürmenden Donners und des Stoßes erscholl aus Westen das Poltern und Rasseln der Trümmer, die vielfach in dem nahen Itea durcheinander stürzten, vereint mit dem Aufschreie der Bevölkerung am Strande, das Gebell der Hunde, das kurze, scharfe Aufrauschen der See am nahen Ufer, wo sie kaum 2 m weit die normale Linie überschritt. Dann einige Sekunden Stille, und es kam von Osten der Schall vom Sturze gewaltiger Felsmassen, die sich allseitig von den Höhen des Kirphis loslösten, in Strömen und Schutthalden sich donnernd durch die Thalschluchten oder auf schroffen Wänden fortwälzten und mit ungleichem Tone auf die Ebene oder auf die Fläche der See herabfuhren. Als nach Maßgabe der Entfernungen das sehr mannigfaltige Getöse zu Ende ging, hörte ich den fernen schwächern und tiefen Donner jener Felsmassen, die vom Parnaß herabkamen, und zuletzt vernahm ich von Westen und Nordwesten aus, vom Korax und von den Höhen um Amphissa, das Getöse der Felsblöcke sehr verschieden von dem inzwischen erneuten Donner der nachfolgenden Erdbeben. Mitten in dem Aufruhre der großen Nachtszene hörte ich in der Nähe das klappernde Geräusch der aneinander schlagenden Blätter des Feigenbaumes, das Herabfallen der Heuschrecken und andrer Insekten von den trocknen Pflanzen, den ängstlichen Lauf nächtlicher Tiere, die erschreckt ihre Schlupfwinkel verlassen hatten. . . .

„Am 6. August ritten wir früh bei völlig klarer, ruhiger Luft nach Delphi; als es auf beschwerlichem Wege stark bergauf ging, stieg ich ab, um im Falle von Felsstürzen mich freier bewegen zu können. Nach 7 Uhr hielten wir im südlichen Teile des Ortes, der in gänzlicher Vernichtung am Boden lag; nur einzelne Mauerreste standen noch, und es hatte sich selbst der kleine Turm einer Kirche aufrecht erhalten. Gegen Osten lagen Kloster und Kirche

der Panagia in Trümmern unter den Ölbäumen, dazwischen sehr große Felsblöcke, die aus der Nähe herabgerollt waren und uralte Bäume zerschmettert und entwurzelt hatten. Schutt, Felsstücke, Ölbäume und Pappeln lagen durcheinander in der steilen Schlucht, die neben dem Kloster im Thale des Pleistos mündet. Der kastalischen Quelle nahe, westlich, waren aus der glatten Wand der seit alters berühmten Phädriaden riesige Felsprismen von 300 bis 400 Fuß Höhe und 60 bis 80 Fuß Dicke herausgebrochen und gegen Süden auf das freie Feld niedergeschlagen, welches Delphi von der kastalischen Quelle trennt. Diese selbst war nun von Blockwällen umgeben, deren Gestein von der östlichen Höhe herabkam; teilweise verschüttet, war sie von Süden her erst sichtbar, wenn man den Trümmerwall überstiegen hatte. In der Meinung, daß diese ehrwürdige Stätte bald den Blicken entzogen werde, wagten wir es ungeachtet der Donner und Erdbeben, sie nochmals in der Nähe zu betrachten. Nach Ablesung des Thermometers und der Wassertemperatur ward schleunigst der Rückweg angetreten. Die größte Furcht hatten wir an den steilen, kolossalen Felswänden vor dem fallenden Gesteine aus der Höhe. . . .

„Nimmt man die Aussage wörtlich, daß in den drei ersten Tagen in jeder dritten Sekunde ein Erdbeben erfolgte, so wären es deren über 86,000 gewesen. Da ich vier Tage später zu Itea nach Zählungen fand, daß in 24 Stunden mindestens 1700—2000 Detonationen und Stöße fühlbar waren, und da es bekannt ist, daß bis zum Winter die Erde nie ganz zur Ruhe kam, so würde man mit Berücksichtigung derjenigen feinsten Bewegungen und Schallwirkungen, die nachts noch deutlich aufgefaßt werden können, für die letzten fünf Monate von 1870 gegen 500,000 Erschütterungen und Detonationen annehmen dürfen, letztere drei- bis viermal häufiger als die erstern. Da nun das Erdbeben $3^1/_2$ Jahre anhielt, so läßt sich ohne Übertreibung sagen, daß am Epizentrum mindestens $^1/_2$—$^3/_4$ Million Erdbebenphänomene auftraten, darunter etwa 300 große und gefährliche mit Zerstörungen, etwa 50,000 Erdstöße, die man nicht beachtete, auf welche $^1/_4$ Million Detonationen zu rechnen sind. Das übrige bestand in den feinen Vibrationen und Tönen, die zumeist nur nachts wahrgenommen werden."

Wir haben hier einen der furchtbarsten Erdbebenschwärme kennen gelernt, die je vorgekommen sind. Der Flächenraum des beschädigten Gebietes wird von Schmidt auf 28 □Meilen geschätzt, das Areal vollständiger Zerstörung auf 7 □Meilen, während ein großer Flächenraum, der ganz Griechenland, Thessalien und die Jonischen Inseln umfaßt, die Erschütterungen wenigstens fühlte. Ich selbst habe das verwüstete Gebiet im Jahre 1876 nach verschiedenen Richtungen durchzogen; in Amphissa fiel die Zahl der neuen Gebäude auf, in Itea (Scala di Salona) hatte man es nicht gewagt, die Häuser aus Stein wieder aufzubauen, der ganze Ort bestand aus niedrigen Hütten, die aus ungebrannten Lehmziegeln zusammengefügt waren. Im Gebirge aber konnte man sich überzeugen, daß in früher Vorzeit hier noch viel heftigere Erdbeben gehaust haben müssen, denn trotz ihrer kolossalen Entwickelung bleiben doch die von Schmidt geschilderten Felsstürze sehr bescheiden gegen jene zurück, deren Spuren aus alter Zeit der Geolog staunend verfolgt. In der Nähe des Bergdorfes Sigditza, nördlich von Amphissa, traf ich einen ansehnlichen, schroffen, mehrere Hundert Fuß hohen Kalkberg, der nach der Lagerung seiner Schichten zu dem sonstigen Baue der Gegend nicht zu passen schien und mich in Zweifel über seine Bedeutung ließ, bis ich mich überzeugte, daß ich nur eine riesige Scholle vor mir habe, die sich dereinst von dem nahen Korax (Giona) losgelöst hatte. Wird doch auch überliefert, daß gallische Kriegerschwärme, die im Jahre 279 v. Chr. das delphische Heiligtum plündern wollten, durch den Herabsturz gewaltiger Felsmassen von den Höhen des Parnasses geschreckt worden seien.

Glücklicherweise treten nicht alle länger andauernden Erdbebenschwärme in so furchtbarer Stärke auf. Häufig beginnt an irgend einem Punkte eine Periode der Schwankungen,

die zwar genügen, um in einer sonst ruhigen Gegend die Einwohner zu ängstigen und sie das Nachfolgen schlimmerer Ereignisse fürchten zu lassen, die aber im Vergleiche mit den eben geschilderten Katastrophen kaum nennenswert sind und keinen erheblichen Schaden hervorrufen. In diese Kategorie gehört z. B. jene lange Reihe von Vibrationen, welche sich in den Jahren 1869—73 am Mittelrheine spüren ließen und ihren Mittelpunkt in Groß-Gerau, in der Nähe von Darmstadt, hatten. Die ersten Erschütterungen wurden am 12. Januar 1869 bemerkt, doch blieben sie unbedeutend bis Ende Oktober desselben Jahres. Am 30. dieses Monates verstärkten sich die Bewegungen, wurden häufiger und dauerten bis Januar 1870 an; von da trat wieder eine Abschwächung ein, doch wurden noch im Jahre 1873 einzelne Schwankungen verspürt. In der Höhezeit der Unruhe waren die einzelnen Bewegungen sehr häufig, so daß man z. B. am 31. Oktober 1869 nicht weniger als 53 Stöße notierte. Die Stärke derselben war aber keine sehr erhebliche, nur wenige unter ihnen, am 31. Oktober und am 2. November, reichten hin, um einzelne Schornsteine umzustürzen.

Das Erdbeben von Agram, das weit ernsterer Natur war, begann, ohne daß vorhergehende leise Schwankungen bemerkt worden wären, am 9. November 1880 um 7 Uhr 33 Minuten 53 Sekunden morgens mit einem sehr heftigen Stoße, der zahlreiche Gebäude ganz oder teilweise niederwarf; und von da bis zum 21. Januar 1882 wurden 200 Erschütterungen gezählt, abgesehen von den bisweilen erfolgenden kaum merklichen Zuckungen. Seitdem haben sich Erdbeben von Zeit zu Zeit wiederholt, und auch jetzt ist die Ruhe noch nicht vollständig wiederhergestellt.

Kaum mehr in den Bereich der „Schwärme“ zu rechnen sind jene Fälle, in welchen einem stärkern Hauptstoße im Verlaufe der nächsten Tage oder Wochen einige schwächere Erschütterungen folgen. Sie führen uns, da eine wirkliche scharfe Trennung der Kategorien ganz undenkbar ist, allmählich zu den Einzelbeben, die nur aus einem oder wenigen durch kurze Intervalle getrennten Stößen bestehen. In diese letztere Kategorie gehört z. B. das durch das Werk von C. v. Seebach bekannte mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872, bei welchem während einer 5—8 Sekunden dauernden wellenförmigen Bewegung zwei stärkere Stöße zu Anfang und zu Ende verspürt wurden.

Die bekannteste und großartigste Erscheinung dieser Art ist die furchtbare Katastrophe, welche am 1. November 1755 über Lissabon hereinbrach. Ganz Europa wurde durch dieselbe in die höchste Aufregung versetzt, und alle Gemüter waren tief erschüttert. Neben vielen andern Berichten jener Zeit gibt uns ein beredtes Zeugnis von diesem gewaltigen Naturereignisse ein unter den frischen Eindrücken geschriebener Brief eines Ungenannten an seinen „Tit. Herrn Rathsherrn Ruffier, vornehmen Handelsmann zu Straßburg“. Derselbe lautet:

„Es haben Euer Excellenz bereits aus einem Schreiben von voriger Post den betrübten Umstand und das große Unglück ersehen, so allhier passiret. Der liebe und barmherzige Gott sei uns allen gnädig und barmherzig! Gegenwärtiges ergehet, um Euer Excellenz eine umständliche Nachricht zu ertheilen. Es war den ersten dieses, da ich des Morgens einige Verkaufrechnung auszoge auf unserem Contor, und nichts als Hosen, Strümpfe und Pantoffeln anhatte und einen alten Schlafrock; damit aber keinen Heller noch Pfennig: da hörte ich auf einmal ein entsetzliches Prasseln; ich loff hinaus zu sehen, was das wäre, und kam glücklich mit den übrigen in unsern Hof, allwo wir fast die ganze Stadt übersehen können. O ewiger Gott! wie betrübt war das anzusehen! Die Erde ging Ellen hoch auf und nieder. Die Häuser aller Orten fielen mit einem entsetzlichen Prasseln alle über einander. Die Carmeliter, so auf dem Berg über uns wohnten, Kirch und Kloster, so sehr groß, ging hin und her, so daß wir besorgten, alle Augenblick davon bedeckt oder von der Erde lebendig verschlungen zu werden. Es war die Sonne so verfinstert, daß wir einander nicht sahen. Wir glaubten und waren gänzlich beredt, daß das

letzte Gericht herbei kommen. Diese entsetzliche Bewegung dauerte was über eine achtel Stunde; alsdann war es wieder ein wenig stille; da wir unsere Flucht nahmen, ein jeder in seinen Nachtkleidern, wie oben beschrieben, nicht weit von uns auf den großen Platz, allwo wir über die zerfallene Häuser und Menschen mit größter Lebensgefahr angelangt. Wir blieben allda etwan 3 Stunden und waren über 4000 Menschen schon versammelt, einige in bloßen Hembdern, andere ganz nackend; der Tod auf allen Gesichtern gemalt; mit unzähligen vielen Blessirten, welche alle um Gottes Barmherzigkeit anruften, und ware das Geschrey erbärmlich. Einige Geistliche kamen herbey, sprachen zu und gaben die Generalabsolution, welches einigen Trost gabe; und empfing jeder männiglich solche Absolution mit Eifer und gläubigem Herzen. Hier kam wieder die Erdbebung, so ungefähr noch eine achtel Stunde dauerte; darauf war etwann eine Stunde Ruh, bis das Gerücht von der See kam, daß das Wasser über alle Maßen gestiegen und wenn wir nicht flüchteten, wir untergehen würden. Gedenken Euer Excellenz, wie es uns hier zu Muthe war. Alle Gassen waren verstopft durch den Umfall der Häuser; jedennoch wagte ich Alles mit etlichen Freunden; wir klammerten über die Steine und todte Menschen; und solches über eine Viertelstunde lang, allwo wir endlich, dem Höchsten zu Dank! unter vieler Todesgefahr auf das freie Feld gerathen. Ich habe viele Todesnoth ausgestanden. Gott sei gelobt! daß er mir bis anhero geholfen. Es wird mir diese Strafe des Allmächtigen, die wir mit unseren Sünden verdient, nimmer aus dem Gedächtniß kommen; auch werde meine Seligkeit mit mehrerm Ernst zu suchen wissen. Wir sind die ersten Nächte unter freiem Himmel fast ganz nackend und bloß gelegen; nunmehr haben wir eine Zelte, die uns wenigstens den Winter durch, ein wenig vor Regen und Frost befreyet. Dem lieben Gott sei für seine gnädige gütige Vorsorge gedankt! Den ersten Abend gegen 11 Uhren kam Feuer an allen Orten aus; und was noch übrig vom Erdbeben, wurde durch die Flammen verzehrt. Alle Gebäude und Mauern, so noch stehen geblieben, müssen nunmehro von unserer Citadelle, so mitten in der Stadt auf einem Berge liegt, abcanonieret werden, damit von diesen, weil Alles baufällig, nicht etwann die Menschen, so daran zu arbeiten beordert werden, nicht auch noch erschlagen werden. Also ist die schöne große Stadt, so die reichste in Europa, und bei 500,000 Menschen in sich hatte, zu einem Steinhaufen geworden. Gott erbarme sich über dieses große Elend, so wir verdient, und womit er uns gestrafet! Der Palast, wo so viele und entsezliche Preciosen, ist verbrennet. Unser Zollhaus, mit vielen Millionen Waaren aus allen Orten der Welt ist theils verbrennet, theils mit einem großen Platz in den See gesunken. Die mehreste Schiffe, deren wir bei 300 in unserem Haven hatte, sind ankerlos worden, einige versunken, andere beschädiget. Ein Holländisches, der Capitän Namens Peter Roclos, ist in die Stadt geschmissen worden, und stuhnde das Schiff auf trocknem Lande; jedoch hat solches der liebe Gott wunderlich erhalten, bis daß eine andere Fluthe kam, und das Schiff vom trocknen wieder wegnahme, und ohne Unglück in die See setzte: Es wiegt ein solches Schiff 18 bis 20,000 Centner. Die Capitäns, so von allen Orten herkamen, haben es bis 60 Meilen von hier auf eine so starke Weise erfahren; und können nicht von Wunder gnug sagen, wie sie erhalten worden. Ihro Majestät der König logiren selbst, uns zur Hülfe und Trost auf dem Felde mit Zelten. Unsere schöne Kirchen, dergleichen in Rom nicht prächtiger noch größer, sammt allen Klöstern sind zerstört, worin man bei 20,000 Geistliche rechnet, davon bey nahe die Hälfte unter dem Ruin geblieben. Wie viele tausend Menschen hat man unter dem Ruine hören rufen und schreyen, ohne daß man Ihnen konnte zu Hülfe kommen, so daß diese noch lebende Unglückselige verbrennen mußten. Mein Gott, das Elend ist zu groß, und erwecket in der ganzen Christenheit Mitleiden; denn wer sich an solchem Exempel nicht spiegeln will, muß kein Christ, ja kein Mensch seyn. Hätte unser König

nicht so väterliche Vorsorge angewendet, müßten wir noch gar Hunger sterben. Seine Mildthätigkeit aber gehet so weit, daß er Brod und Fleisch umsonst austheilen lassen: Er vergießet eben so viele Thränen unter uns Elenden, als alle Unterthanen. Er nimmt Theil an allem unserem Schmerzen. Gott erhalte Ihn, und seine ganze Familie. Er erzeigte sich als ein recht barmherziger Vater, so unser aller Trost ist. Gott segne ihn. Anjezo sucht man hier zu Lande nichts zu kaufen als Brod, den Hunger zu stillen, und grob Leinwand, sich zu bedecken; und muß dieses Unglück große Folgen nach sich ziehen: Dann der reichesten Häuser in der Noordt müssen zu trümmern gehen. Gott sei denen gnädig, die es betrifft! Von Cadix habe Nachricht, daß es allda ebenso arg beschaffen, als hier. Euer Excellenz sehen sich wohl vor, mit wem sie zu thun; denn es werden diese zwo Städte in Europa große Confusion im Handel machen. Von Gibraltar ist auch Nachricht, daß die Werker, so von lauter Felsen, alle ruinirt. Das ganze Land bis durch Spanien hat gelitten, doch nicht so viel als hier, aber das Königreich Algarbien noch mehr als hier. Lissabonn den 18. Novembr 1755."

Nicht viel weniger entsetzlich sind die Wirkungen der jüngsten Erdbeben von Casamicciola auf Ischia. Über das erste dieser Erdbeben berichtet G. vom Rath: „Das Erdbeben vom 4. März (1881) um 1 Uhr 5 Minuten nachmittags wurde auf der ganzen Insel Ischia gefühlt sowie auf Vivara und Ventotene. Vom nahen Festlande liegt indes nicht eine einzige Angabe vor. Das durch Beschädigung und Zertrümmerung der Gebäude heimgesuchte Gebiet nimmt eine ovale Fläche ein, in der man wieder eine innere Ellipse stärkster Verheerung unterscheiden kann. Diese zentrale Ellipse mißt von Osten nach Westen 1900 m bei einer Breite von 550 m. Das Dorf Casamicciola fällt fast seiner ganzen Ausdehnung nach in die östliche Hälfte dieses Ovales. In der äußern Zone, welche bei einer Breite von $2^1/_2$ km einen Längendurchmesser von $3^1/_2$ km besitzt, sind noch Beschädigungen der Gebäude, wie Risse und Spalten, vorgekommen, doch keine vollständigen Verwüstungen. In dem innern Bezirke muß das Erdbeben furchtbare Gewalt gehabt haben; die Verheerungen wurden durch einen Vertikalstoß bewirkt, der ohne alle Vorbereitungen plötzlich eintrat. Die Gebäude, aus dem lockern Tuffe des Monte Epomeo gebaut, besitzen flache Dächer, welche in einem Augenblicke zu Boden stürzten und alles Lebendige unter den Trümmern begruben; wäre die Katastrophe in der Nacht erfolgt, so wären fast alle Bewohner des Dorfes getötet worden. Auch so war die Zahl der Opfer noch sehr groß: 118 Tote und 70 Schwerverwundete, von denen noch manche ihren Leiden erlagen. Bemerkenswert ist das Erdbeben wegen seiner momentanen Wirkung; bei ähnlichen Ereignissen konnten bisweilen die Menschen eine schützende Thorwölbung oder auch das Freie gewinnen und sich retten. Nicht so bei dem Stoße von Casamicciola am 4. März; die Menschen wurden genau an der Stelle erschlagen, wo sie standen und saßen. Geführt von dem Kommandierenden der Genietruppen, welche zur Ausgrabung der Leichen, zur Wegräumung der Schuttmassen hergesandt waren, durchwanderte ich die Ruinenstätte. Eins der ersten Zeugnisse von der furchtbaren Gewalt des Stoßes gaben zwei gemauerte vierseitige Thorpfeiler der Villa Barbaresi, welche $1^1/_2$ m über die Gartenmauer hervorragten. In der Höhe der Mauer waren die Pfeiler horizontal abgebrochen, die getrennte Masse des einen war unter gleichzeitiger Drehung etwas verschoben, das losgelöste Stück des andern Pfeilers war nochmals zertrümmert und herabgestürzt. Überall fanden wir die furchtbarsten Verwüstungen; die Kirche Purgatorio war eingestürzt, die ältern Häuser teils Trümmerhaufen, teils einsturzdrohende Ruinen; daß die sehr schlechte Bauart an dem vollständigen Zusammenbruche so vieler Gebäude mitschuldig war, das beweisen die besser gebauten neuen Häuser, so die beiden Sentinellen und das Hôtel Bellevue, welche zwar beschädigt, aber nicht eingestürzt sind."

Unvergleichlich stärker und fürchterlicher in seinen Folgen war das neueste Erdbeben auf Ischia, welches am 28. Juli 1883 die Insel heimsuchte. Während die Katastrophe von 1881 kaum ein Viertel der Häuser von Casamicciola vernichtet hatte, blieb diesmal nur eins unverletzt stehen, und auch eine Reihe andrer Ortschaften: Lacco, Forio, Panza, Fontana rc., erlitten ein ähnliches Schicksal; nur der Hauptort Ischia kam mit geringem Schaden davon. Von 6626 Häusern, welche die Insel mit Ausschluß der Stadt Ischia zählte, stürzten 2278 ein, 3616 wurden beschädigt, und nur 722 blieben unversehrt. Die Zahl der Toten wird von den offiziellen Berichten auf 2313, die der Verwundeten auf 762 angegeben, während die ersten Nachrichten von 5000 Toten und 6—7000 Verwundeten wissen wollten. Der Verlust



Eine Partie aus Casamicciola nach dem Erdbeben vom Jahre 1883 (nach einer Photographie).

an Menschenleben war ein verhältnismäßig großer, weil der Stoß bei Nacht eintrat, als die ganze Einwohnerschaft und die vielen anwesenden Badegäste fast alle unter Dach waren.

Ein Unterschied gegen die Katastrophe von 1881 machte sich insofern geltend, als der Hauptstoß von 1883 nicht ganz unvorbereitet kam; etwa eine Woche vorher wurden leichte Bewegungen bemerkt, und auf dem Monte Cito, ganz nahe bei Casamicciola, traten einige bis dahin sehr schwache Fumarolen in stärkere Thätigkeit. Auf die Angabe, daß die warmen Quellen von Casamicciola reichlicher und mit höherer Temperatur geflossen seien, dürfte dagegen kein Wert zu legen sein. Der Hauptstoß erfolgte um 9 Uhr 25 Minuten abends und wurde von einer leichten Erschütterung mit unterirdischem Geräusche angekündigt. Die Haupterschütterung am 28. Juli bestand aus einem äußerst heftigen, von unten nach oben gerichteten senkrechten Stoße, der verschiedene Gegenstände hoch in die Luft schnellte und von mächtigem unterirdischen Donner begleitet war. In einem Momente war

das Werk der Vernichtung vollendet, es folgte noch eine 15—20 Sekunden dauernde schwächere Wellenbewegung, dann war alles ruhig. Von 9½ Uhr bis Mitternacht wurden noch 6 und von da an bis zum 28. Juli 15 weitere Bewegungen beobachtet. Am 29. Juli traten östlich von Casamicciola, gegen Castiglione, zahlreiche Fumarolen und Dampfstrahlen auf, am 3. August war wieder ein stärkerer Stoß fühlbar und etwa 30 weitere Erschütterungen im Laufe des Augustes und Septembers. Die Verbreitung des Erdbebens war eine größere als im Jahre 1881, die ganze Insel wurde betroffen; aber von außerhalb, vom Festlande, liegt keine sichere Meldung über eine deutlich bemerkbare Erschütterung vor, ja selbst die überaus feinen Instrumente des Vesuvobservatoriums zeigten keine Bewegung an, während allerdings in weiter Entfernung die Seismographen von Rom, Velletri, Florenz und Fermo leise Zuckungen notierten.

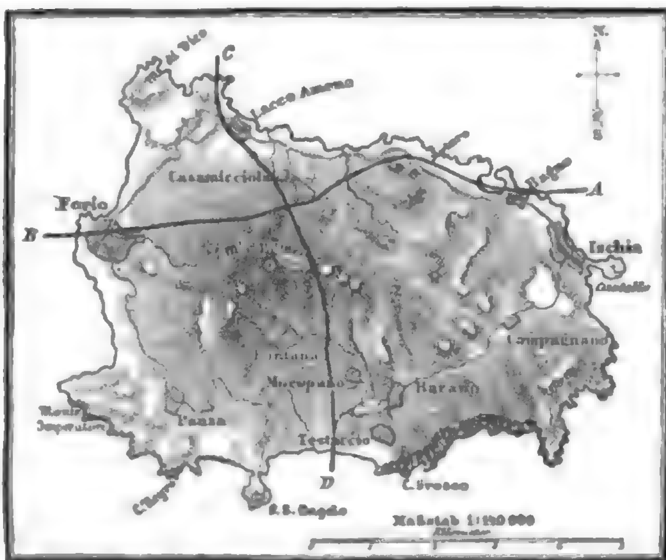
Die Frage nach der Ursache des Erdbebens von Casamicciola ist viel besprochen worden, und die Ansichten hierüber sind ebenso geteilt wie über das künftige Schicksal der Unglücksstätte. Palmieri, der bekannte Vorstand des Vesuvobservatoriums, ist der Ansicht, daß man es überhaupt nicht mit einem eigentlichen Erdbeben zu thun habe. Seit alters werden nämlich Thonlager, welche unter Casamicciola in der Tiefe liegen, zur Fabrikation von Ziegeln und Töpferwaren durch eine Art unregelmäßigen Bergwerksbetriebes ausgebeutet, und Palmieri ist der Ansicht, daß im Laufe der Jahrhunderte hier der Boden ganz unterwühlt und die so gebildeten Hohlräume ganz oder teilweise eingestürzt seien. In zweiter Linie denkt er an die Entstehung von Hohlräumen durch die heißen Quellen der Insel, welche unterirdische Auswaschungen hervorbrachten. Als Beweise dafür werden die sehr geringe Ausdehnung und das plötzliche, durchaus unvermittelte Eintreten der Hauptstöße angeführt, welche bei andern Erdbeben nie vorkommen sollen; aber mit vollem Rechte wird gegen diese Auffassung der Umstand geltend gemacht, daß das Wasser der Quellen sich erhitzte, daß eine Fumarole sich neu belebte und nach der Beobachtung des Kapitäns Serpieri sogar der Boden stellenweise so heiß war, daß man einen Fuß unter der Oberfläche die Hand nicht auf die Erde legen konnte. Eine Untersuchung der tiefen Thongruben, welche von Baldacci gegen Ende August vorgenommen wurde, ergab ferner, daß dieselben, soweit ihre Mündung zugänglich war, im Innern keinerlei Einsturzerscheinungen darboten. Überhaupt erwiesen sich die Ausgrabungen nicht als weit ausgedehnte Hohlräume, von denen ein Sturz zu erwarten gewesen wäre, sondern als enge, unregelmäßig gewundene Gänge, die, wenn einmal verlassen, sich im Laufe der Zeit wahrscheinlich von selbst infolge der Plastizität des Thones wieder zusammenschließen.

Von andrer Seite, namentlich von de' Rossi, Serpieri und Sueß, wurde darauf hingewiesen, daß weder das plötzliche Eintreten der Stöße noch die enge räumliche Begrenzung eine vollständig ausnahmsweise Erscheinung bei Erdbeben, sondern (und namentlich die letztere) eine Eigentümlichkeit der Gebiete thätiger oder erloschener Vulkane sei. Der Vultur bei Melfi, das Albanergebirge bei Rom und viele andre ließen räumlich sehr beschränkte Erschütterungen beobachten, und erst in neuester Zeit hat uns Knop mit einem ähnlichen Beben bekannt gemacht, das seinen Ausgangspunkt vom Kaiserstuhle genommen hat, jener schönen Gruppe tertiärer Vulkanruinen, welche bei Freiburg im Breisgau sich aus der Rheinebene erheben. Am 21. Mai 1882 wurde hier um 4 Uhr 40 Minuten ein ganz vereinzelter Stoß gefühlt, glücklicherweise von sehr geringer Heftigkeit, der nur in einem Umkreise von etwa 9 km bemerkbar war und nur nach einer Richtung sich etwas weiter erstreckte, nämlich südwestlich gegen Neubreisach, in einer Richtung, in welcher verschiedenen Anzeichen zufolge eine Fortsetzung der vulkanischen Gesteine unter der Decke der jüngern Bildungen des Rheinthales wahrscheinlich ist.

In der That ist der Boden von Ischia vulkanisch, und mehrmals in historischer Zeit, zuletzt im Jahre 1302, haben hier Lava-Ausbrüche stattgefunden. Die ganze Insel

besteht aus Tuffen und Laven, und auch die dortigen Thone sind nur durch Zersetzung von Tuffen entstanden. Durch Verfolgung der heißen Quellen, Gasausströmungen und Fumarolen konnte Balbacci nachweisen, daß die Insel von zwei sich kreuzenden Spalten durchzogen wird, welche sich gerade bei Casamicciola schneiden, also an dem Punkte, an welchem die Stöße ihren Oberflächenmittelpunkt haben (s. untenstehende Abbildung). Unter diesen Umständen ist die einzig zulässige Deutung, daß die Erschütterungen auf Ischia durch vulkanische Kräfte bedingt seien, und daß sie mit Regungen geschmolzener Massen in der Tiefe in Verbindung stehen.

Leider gibt dieser Umstand für die Zukunft der Insel eine wenig beruhigende Aussicht. Im Jahre 1302 hat, wie erwähnt, der letzte vulkanische Ausbruch stattgehabt; von da an scheinen dort starke, verheerende Erdbeben lange Zeit hindurch nicht vorgekommen zu sein. Eine etwas heftigere Bewegung wird aus dem vorigen Jahrhundert gemeldet; stärker war dieselbe im Jahre 1812, und seither sind 15 zum Teile sehr bedeutende Stöße vorgekommen, welchen die alle frühern weit übertreffende Katastrophe von 1881 und mit verdoppelter Wut jene von 1883 folgten. Es drängt sich der Vergleich mit den Erdbeben auf, welche die unmittelbare Umgebung des Vesuvs heimsuchten und im Jahre 63 Pompeji niederwarfen, ehe der Berg im Jahre 79 nach jahrhundertelanger Ruhe zu furchtbarem Paroxysmus erwachte. Ischia gehört in das Gebiet der Phlegräischen Felder, in welchem kein dauernder Ausbruchspunkt vorhanden ist, sondern bald hier, bald dort ein Krater sich bildet, der entweder nur einmal oder in sehr langen Zwischenräumen in Thätigkeit tritt. Die Eruptionen der Solfatara 1198, auf Ischia 1302, am Monte Nuovo 1538 sind die letzten derartigen Ereignisse, und die Annahme ist nur zu naheliegend, daß wir am Vorabende eines neuen Ausbruches stehen, der sich auf Ischia oder günstigsten Falles in seiner Nachbarschaft im Meere einen Ausweg bahnen wird. Doch kann lange Zeit vergehen, ehe dies geschieht; ebenso ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die Bewegung sich beruhigt, ohne daß es bis zur Bildung eines neuen Feuerberges kommt. Besonders ist zu erwarten, daß kein solches Ereignis eintritt, solange der Vesuv in Thätigkeit ist, da bisher Ausbrüche in den Phlegräischen Feldern nur stattgefunden haben, wenn der Vesuv in Ruhe war.



Karte der Insel Ischia. A—B, C—D Verlauf der Spalten.

Verbreitung der Erdbeben.

Die Vorgänge von Casamicciola haben uns Erdbeben von engster lokaler Beschränkung kennen gelehrt, die immerhin zu den sehr seltenen Fällen zählen. Die Regel ist, daß die Wirkungen sich über ein weites Areal ausdehnen. Als das bekannteste und extremste Beispiel in dieser Richtung wird stets das Erdbeben von Lissabon erwähnt, das sich über einen Flächenraum von 700,000 geogr. Meilen, also etwa den dreizehnten Teil der Erdoberfläche, erstreckt haben soll. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß man diese enorme

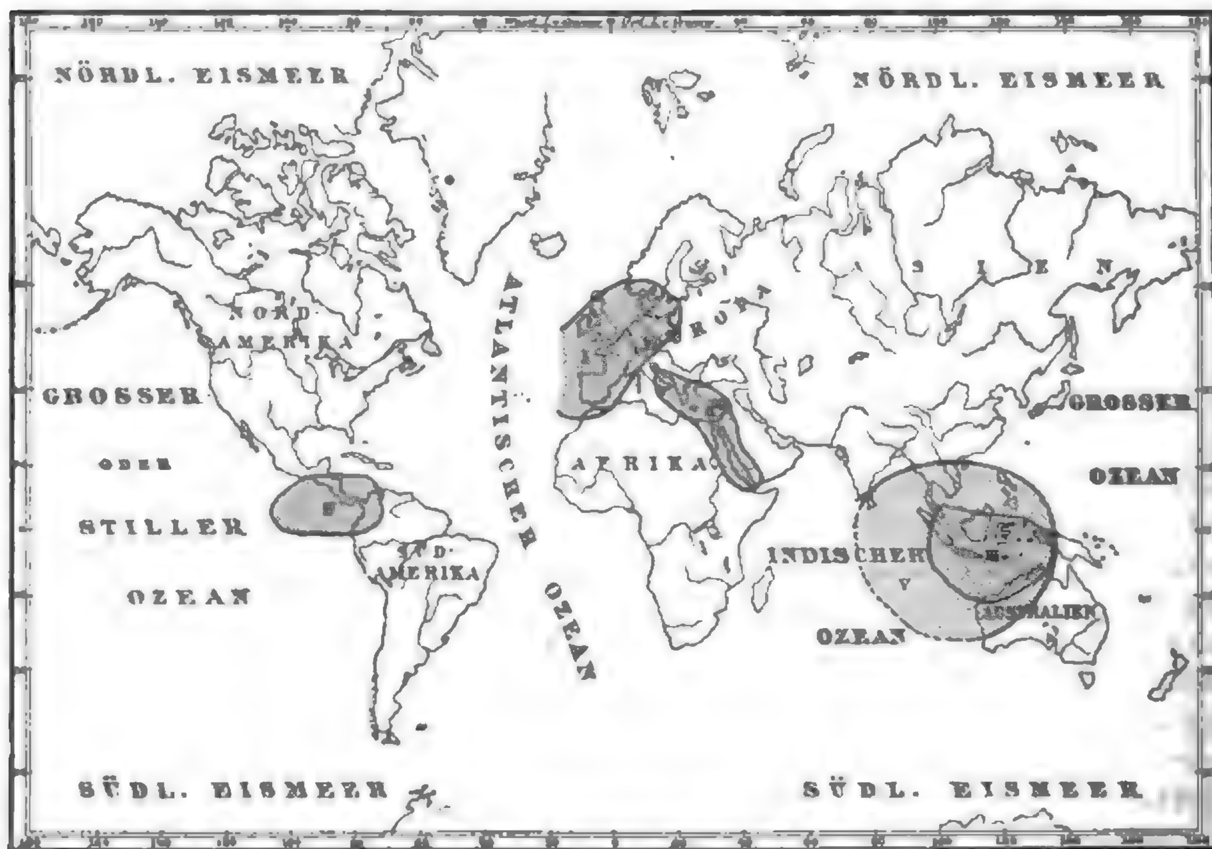
Ausdehnung dann erhält, wenn man die Gebiete mitrechnet, an welchen auch nur ein stärkeres Branden des Meeres an der Küste bemerkt wurde. Die Katastrophe von Lissabon war, wie schon erwähnt (s. S. 272), von einer furchtbaren, durch den Stoß erzeugten Flutwelle begleitet, und diese Oszillationen pflanzten sich über den ganzen Atlantischen Ozean fort. Aber deswegen darf man natürlich nicht folgern, daß das Beben selbst sich so weit fortgesetzt habe, sowenig das bei den mächtigen Wogen angenommen werden kann, die, von Erschütterungen an der südamerikanischen Westküste erzeugt, sich bis an die Gestade Australiens und Japans fühlbar machen und die Ränder der südpolaren Eismassen aufbrechen. Indes auch unter bloßer Berücksichtigung der Punkte, an welchen Erschütterungen wirklich beobachtet wurden, und unter Annahme einer auch nur wenig über den Grund des Atlantischen Ozeanes sich erstreckenden Ausdehnung erhält man eine Verbreitung von weit über 100,000 QMeilen; wahrscheinlich jedoch war dieselbe größer, und bei gar nicht sehr sanguinischer Berechnung kommt man auf etwa 300,000 QMeilen (s. Karte, S. 278). Das Areal starker Zerstörung erstreckte sich im Süden bis Mogador an der Küste von Marokko und umfaßte einen großen Teil der Pyrenäenhalbinsel. Fast ganz Portugal wurde verwüstet, Sevilla, Cadiz, Jeres, Madrid und andre Städte litten heftig; dagegen verdient eine vereinzelte Angabe über Zerstörung in England wohl keine Berücksichtigung. Von entfernten Punkten, an denen die Erschütterung überhaupt empfunden wurde, ist die Insel Madeira zu nennen, von zahlreichen Punkten in Frankreich mag Caen als ganz im Norden gelegen erwähnt werden; auch scheint zu Cork in Irland eine wirkliche und nicht unbedeutende Erschütterung stattgefunden zu haben, was mit der Annahme der Hauptverbreitung längs einer Nordsüdlinie gut im Einklange stehen würde. Aus Holland wurden ebenfalls von mehreren Orten Bewegungen gemeldet, ebenso aus Hamburg, aus Holstein und Dänemark; doch wird man in diese Angaben einige Zweifel setzen dürfen, zumal sie aus einer Quelle stammen, von welcher der überaus gewissenhafte und vorsichtige Hoff wohl mit gutem Grunde sagt, daß sie gern Wunderbares berichte. In Süddeutschland sollen Kannstatt, Augsburg und Donauwörth, in der Schweiz Basel und ganz besonders Brieg in Wallis Stöße empfunden haben; in Italien sind Turin und Mailand zu nennen, während aus dem Süden ausdrücklich Ruhe gemeldet wird.

Eine ganz besonders auffallende Eigentümlichkeit des Erdbebens von Lissabon bilden die Wirkungen auf Seen, Teiche und Quellen. Von den Seen der schottischen Hochlande, aus England, der Mark Brandenburg, dem südlichen Schweden, aus Oberbayern, der Schweiz, Italien wird von einer Menge von Punkten übereinstimmend gemeldet, daß ohne die mindeste sichtbare oder fühlbare Veranlassung die Wasserflächen der Seen in wogende Bewegung geraten seien[1]. Zahllose Quellen trübten sich, blieben aus, flossen stärker oder schwächer oder änderten ihre Temperatur. Von der Therme von Teplitz wird berichtet, daß am 1. November 1755, dem Tage des Erdbebens von Lissabon, „zwischen 11 und 12 Uhr die Hauptquelle plötzlich eine so große Menge Wasser auswarf, daß in einer halben Stunde alle Bäder überflossen; schon eine halbe Stunde vor diesem Aufquellen war das Wasser schlammig geworden. Nachdem es hierauf beinahe eine Minute lang ganz ausgeblieben war, brach es mit großer Gewalt hervor und warf eine große Menge rötlichen Ockers aus; hierauf wurde die Quelle wieder ruhig und rein wie zuvor.“ (Hoff.) Besonders bemerkenswert ist, daß diese Irritierung der Seen und Quellen über einen sehr viel größern Raum bemerkt wurde als die Erschütterung der Erde.

Solches ergeben die Berichte. Wieviel an denselben wahr, wieviel irrig sein mag, ist

[1] Hier darf wohl gefragt werden, ob nicht sehr oft eine „Seiche“, die gerade zufällig um diese Zeit eintrat und die sonst wohl in Vergessenheit geraten wäre, nach Eintreffen der Botschaft aus Lissabon in dieser Weise gedeutet wurde.

heute nicht mehr zu ermitteln; nur eins mag bemerkt werden: die Katastrophe von Lissabon regte die Gemüter in ganz Europa in einer unerhörten Weise auf. Im Hinblicke auf die Flut von Flugschriften, Abhandlungen, politischen Denkschriften, Predigten, Gedichten ꝛc., die damals im Drucke erschienen, darf man sagen, daß dies neben der französischen Revolution das sensationellste Ereignis des 18. Jahrhunderts war. Unter diesen Umständen wird man es begreiflich finden, daß die aufgeregte Phantasie der Menschen manches zu sehen glaubte, was nicht existierte, und daß jede nicht allergewöhnlichste Naturerscheinung, die zufällig an jenem oder am vorausgehenden oder folgenden Tage eintrat, unmittelbar mit



Geographische Verbreitung der Schallphänomene des Ausbruchs von Krakatau, des Erdbebens von Lissabon ꝛc.

I Verbreitung des Erdbebens von Lissabon vom 1. November 1755 (vgl. Text, S. 277). — II Verbreitung des Erdbebens im südöstlichen Mittelmeere vom 24. Juni 1870 (vgl. Text, S. 279). — III Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruche des Temboro auf Sumbawa (vgl. Text, S. 233). — IV Verbreitung des Aschenregens beim Ausbruche des Conseguina (vgl. Text, S. 250). — V Verbreitung des Schallphänomens beim Ausbruche des Krakatau (vgl. Text, S. 232).

dem großen Erdbeben in Verbindung gebracht wurde. Viel, sehr viel mag auf Rechnung dieses subjektiven Koeffizienten gesetzt werden; jedenfalls aber ist sicher, daß die Ausbreitung des Erdbebens vom 1. November 1755, seiner Heftigkeit entsprechend, überaus groß und von ziemlich ausnahmsweisen Erscheinungen an Quellen und Seen begleitet war.

Kein andres Erdbeben, soweit wir sichere Kunde haben, scheint sich auch nur entfernt an Ausdehnung mit diesem vergleichen lassen zu können; aber es besteht natürlich kein Grund für den Glauben, daß hier wirklich ein ganz ausnahmsweiser Fall vorliege. Wäre nicht durch den Stoß von 1755 eine der reichsten und größten Städte Europas zu Grunde gegangen, so hätte man die Nachrichten über seine Verbreitung nicht so eifrig gesammelt. Aus unkultivierten Gegenden wären sogar höchst wahrscheinlich selbst unter unsern heutigen weit ausgebildeten Verkehrsverhältnissen Nachrichten über die Verbreitung auch bei der größten Anstrengung nicht zu erhalten. Immerhin wissen wir noch von manchen

Erschütterungen, die über sehr bedeutende Strecken fühlbar waren. So wurde das wegen der dabei angeblich eingetretenen Hebung der Küste so vielbesprochene Erdbeben von Chile vom Jahre 1822 an nahezu 400 geogr. Meilen voneinander entfernten Punkten bemerkt, und noch einige andre südamerikanische Stöße stehen hinter diesem kaum zurück. Von den uns näher gelegenen Gegenden scheint eine Ausgangsstelle für sehr ausgebreitete Erdbeben in der südöstlichen Ecke des Mittelmeeres, im Norden des Roten Meeres oder in den angrenzenden Ländern zu liegen. Am 24. Juni 1870 fand ein starkes Erdbeben statt, das Arabien, Ägypten, Italien, Griechenland, Kleinasien und Syrien erschütterte; am östlichen Ufer des Roten Meeres reichte dasselbe bis Aden, sonstige extrem gelegene Punkte sind Neapel und Urbino in Italien, Athen, die Dardanellen, Lesbos, Smyrna und Beirut in Syrien (s. Karte, S. 278). J. Schmidt macht aber ausdrücklich darauf aufmerksam, daß wohl nur die Armut und Unvollkommenheit der Nachrichten daran hinderten, eine größere Verbreitung nachzuweisen. Merkwürdig ist es, daß am 12. Oktober 1836 eine Erschütterung eintrat, welche nahezu dieselbe Verbreitung hatte. Während die früher genannten Stöße zu den furchtbarsten gehörten, läßt sich dies von demjenigen des 24. Juni 1870 nicht sagen; er war heftig, scheint aber nirgends nennenswerten Schaden angerichtet zu haben. Immerhin erstreckte er sich, wie wir soeben gesehen haben, über ein außerordentlich großes Areal, und es zeigt uns schon dieser eine Fall, daß zwischen Intensität und Ausbreitung kein notwendiger Zusammenhang besteht. Die nur fünf Wochen später eingetretenen furchtbaren Erdbeben von Phokis, die oben geschildert wurden (s. S. 267), reichten, wie es scheint, nicht einmal über 2500 QMeilen hinaus. Der in Casamicciola alles zerstörende Stoß vom 4. März 1880 war überhaupt nur auf Ischia fühlbar, während das mitteldeutsche Erdbeben von 1872, das kaum ein paar Mörtelstückchen abwarf, sich über 3100 QMeilen erstreckte. Ebensowenig besteht eine bestimmte Beziehung zwischen der Größe des Gebietes, in welchem die Erschütterung sehr stark und verheerend auftritt, und dem Umfange des Areales, in welchem die Bewegung überhaupt bemerkt wird. Das große kalabrische Erdbeben von 1783, bei welchem 20,000 Menschen zu Grunde gingen, warf auf einem Flächenraume von $5^1/_2$ QMeilen alles nieder, das Schüttergebiet aber war ein ganz beschränktes, während anderseits bei dem Erdbeben von Belluno 1873 die Beschädigungen auf den Raum von 1 QMeile beschränkt blieben, das Beben aber auf einer Fläche von 45,000 QMeilen bemerkt wurde.

Wenn wir bis jetzt von der Verbreitung der Erdbeben gesprochen haben, so war nur von jenen Erschütterungen die Rede, welche vom Menschen unter günstigen Verhältnissen bemerkt und unmittelbar beobachtet werden können; anders verhält es sich dagegen mit jenen leisesten Vibrationen, welche, uns unfühlbar, nur von jenen außerordentlich feinen Instrumenten angegeben werden, die man in neuerer Zeit namentlich in Italien benutzt. Wäre der Gebrauch dieser „Seismometer" überall verbreitet, so könnte man die Erstreckung der Erdbeben noch viel weiter verfolgen, wie sich das sehr deutlich beim Agramer Erdbeben von 1880 zeigte. Die Stöße desselben erstreckten sich zwar bis nach Italien, wurden aber hier nur im äußersten Nordosten, in Venedig, Udine und Padua, von den Einwohnern bemerkt; entferntere Orte, z. B. schon Bologna, nahmen nichts wahr, und jenseit der Apenninen wurde keine Spur mehr beobachtet. Aber die Instrumente zu Rocca di Papa im Albanergebirge, südlich von Rom, und diejenigen zu Neapel verzeichneten alle stärkern Stöße, die sich in Agram ereigneten.

Noch merkwürdiger sind jedoch, wenn sie sich bestätigen, die Bemerkungen der Astronomen auf der großen Sternwarte zu Pulkowa bei Petersburg. Bekanntlich sind alle Sternwarten mit äußerster Sorgfalt so eingerichtet und so fest fundiert, daß keinerlei Erschütterung der Instrumente eintreten kann; trotzdem bemerkt man bisweilen leise Zuckungen der Fadenkreuze an den Teleskopen. Man glaubt nun in Pulkowa gefunden zu haben, daß diese Vibrationen der Zeit nach mit den großen Erdbeben Südamerikas zusammenfallen und

nichts andres sind als Wirkungen jener Stöße, die sich mitten durch die ganze Masse der Erde fortpflanzen und sich an den Instrumenten noch fühlbar machen.

Übrigens ist selbst innerhalb seines Verbreitungsbezirkes die Wirkung eines Erdbebens sehr ungleich; von zwei ganz nahe bei einander liegenden Orten wird oft der eine sehr stark, der andre nur wenig oder gar nicht erschüttert. In den sehr unruhigen Gegenden Südamerikas hat man die Bemerkung gemacht, daß einzelne Orte von allen Erdbeben übersprungen werden und unbewegt bleiben oder nur sehr wenig zu leiden haben; sie bilden eine „Brücke", wie man dort sagt. Am heftigsten und verderblichsten pflegen die Stöße da zu wirken, wo über fester, felsiger Grundlage eine nicht sehr mächtige Decke loser Gesteine, namentlich tertiärer, diluvialer oder rezenter Thone, Sande oder Gerölle, liegt. Wie Sandkörner, die man etwa auf den Resonanzboden eines Klavieres streut, von den Schwingungen des letztern in die Höhe geschleudert und in tanzende Bewegung versetzt werden, so werden diese unzusammenhängenden Aufschüttungsmassen durch die Bewegung der festen Unterlage wild durcheinander geschüttelt, und solche Stellen sind es, an welchen in der Regel die schwersten Schäden angerichtet werden. Ragt aus einer solchen Decke junger Materialien eine Kuppe des alten Felsgerüstes empor, so bleibt diese verhältnismäßig ruhig, sie bildet bei sehr heftigen Erschütterungen oft eine Oase der Ruhe, eine „Brücke". Noch viele andre Verhältnisse beeinflussen natürlich die Ausbreitung. Dieselbe ist im Streichen der Schichten eine andre als im Fallen; Spalten treten der Fortsetzung abschwächend in den Weg, Gebirge schneiden die Verbreitung bisweilen total ab, oder die Wellen einer Erschütterung prallen sogar an einem Gebirgszuge ab, wie Mallet es in einem Falle mit großem Scharfsinne nachzuweisen gesucht hat, und werden von demselben zurückgeworfen wie Lichtstrahlen, die auf einen Spiegel fallen.

Wie die Verbreitung der einzelnen Erdbeben, so ist auch deren Vorkommen und Bedeutung im großen wesentlich bedingt von dem geologischen Baue der einzelnen Länder. Große, ebene, tafelförmige Landstriche, die mit sehr mächtigen Massen junger Ablagerungen bedeckt sind, bilden, wie wir das an der norddeutschen Ebene, an dem russischen und sibirischen Tieflande erkennen, jenen Typus, welcher am seltensten und schwächsten von Erdbeben heimgesucht wird; auch Massengebirge sind ihnen nicht sehr ausgesetzt. Dagegen sind die Kettengebirge und die an ihrem Steilrande sich ausdehnenden Ebenen, ferner die Umgebungen der Mittelmeere, namentlich solcher, welche nach einer Seite von einer Reihe von Inseln eingefaßt sind, heftigen Erschütterungen unterworfen. Außer der norddeutschen Ebene und der russisch-sibirischen Niederung sind erdbebenarm und besonders von starken Stößen fast ganz frei der Rest des außeralpinen Deutschland, der größte Teil von Frankreich, England und Skandinavien, ferner die brasilische Kontinentalmasse und namentlich der größte Teil von Afrika südlich der Sahara. Als erdbebenreiche Gebiete sind zunächst die Alpen zu bezeichnen. Die gesamten Küstenländer des Mittelländischen Meeres, Nordafrika, die Pyrenäenhalbinsel, Italien, die Balkanhalbinsel, Kleinasien, Syrien und weiterhin der Kaukasus, Armenien, Persien sind von den Erschütterungen sehr oft und in äußerst heftiger Weise betroffen. Auf der ganzen Erdoberfläche ist nur das Gebiet von Zentralamerika noch mehr heimgesucht als jene, während die ostasiatische Inselregion mit der Mediterrangegend ungefähr auf einer Stufe stehen mag. Das Erdbeben von Lissabon, bei dem nach verschiedenen Angaben 30—60,000 Menschen zu Grunde gegangen sein sollen, die großen kalabrischen Stöße, bei denen die Zahl der Toten zwischen 10,000 und 30,000 wechselte, das sizilische Beben von 1693, bei dem 60,000 Menschenleben vernichtet wurden, die fürchterlichen Stöße, welche Phokis und Achaja verwüsteten, die Katastrophe von 1880 auf der Insel Chios, das Erdbeben, das unter Kaiser Justinus im Jahre 536 in Syrien und Kleinasien 120,000 Opfer forderte, sind einige der grellsten Beispiele, welche die furchtbare Energie dieser Erscheinungen im Mittelmeergebiete erweisen.

Manche Teile Ostindiens, vor allen die ostasiatischen Inseln, namentlich Japan, sind sehr heftigen Erschütterungen ausgesetzt. In Amerika kommen zwar in den nördlichern Teilen Erdbeben nicht selten und mitunter in ziemlich beträchtlicher Stärke vor, allein im ganzen sind es doch verhältnismäßig ruhige Gegenden. Dagegen stellen Zentralamerika, der westliche und nördliche Küstenstrich von Südamerika samt Westindien den Teil der Erde dar, welcher die meisten und heftigsten Stöße zu erleiden hat. Die Stadt Lima wurde seit dem Jahre 1586 elfmal vollständig zerstört, und die Erdbeben von Caracas 1812, Riobamba 1797, Iquique 1868, die Erschütterungen, welche Ecuador und Kolumbien in demselben Jahre verwüsteten, und eine Menge andrer gehören zu den schrecklichsten Ereignissen, die sich je zugetragen haben.

Natur und Wirkung der Stöße.

Nur von dem Gebiete stärkster Zerstörung, dem „pleistoseisten"[1] Gebiete, kann natürlich die Rede sein, wenn wir von Intensität der Erdbeben sprechen und diejenige verschiedener Stöße vergleichen; denn es hat wohl nie ein Erdbeben gegeben und kann es nach den unabänderlichen Gesetzen der Mechanik nicht geben, dessen Schwingungen nicht nach den Rändern seiner Verbreitung zu allmählich sich abschwächen und verklingen, das also nicht lokal sehr unbedeutend aufträte. Es bietet übrigens die Bestimmung der Intensität bei Erschütterungen vorläufig noch unüberwindliche Schwierigkeiten. Dieselbe wäre zwar an sich sehr einfach gegeben durch den Betrag, um welchen die einzelnen Teilchen der Erdoberfläche ihre Lage verändern, und durch die Geschwindigkeit, mit welcher dies geschieht; allein es fehlt an Mitteln, dies zu bestimmen. Wohl hat man in neuerer Zeit Apparate zu konstruieren versucht, welche die Stärke der Bewegung graphisch angeben; aber wenn auch vielversprechend in ihren Anfängen, haben diese Experimente doch noch nicht genügende Proben bestanden. Das Gefühl der Menschen ist in dieser Beziehung überaus trügerisch, und noch mehr sind natürlich die Ansichten darüber verschieden, wie dieses Gefühl auszudrücken sei. In Gegenden, welche selten und nur von harmlosen Stößen heimgesucht sind, wird eine Bewegung des Bodens schon als heftig bezeichnet und verbreitet allgemeinen Schrecken, die in Zentralamerika, in Ecuador, Peru oder Chile kaum beachtet wird. Man nimmt daher in der Regel die Wirkung, namentlich diejenige auf Gebäude, auf frei stehende Gegenstände ꝛc., zum Maßstabe und hat danach in den letzten Jahren eine Skala der Erdbeben zu entwerfen gesucht, welche zehn verschiedene Stärkegrade unterscheidet. Allein auch das sind nur sehr relative Werte, denn in einer Gegend, in welcher eine solide Bauart der Häuser üblich ist, werden die Verwüstungen sehr viel geringere sein als da, wo man in dieser Beziehung sorglos zu verfahren pflegt. Ebenso ist die Natur der Örtlichkeiten, die man in verschiedenen Gegenden vorwiegend zu Städteanlagen benutzt hat, von großem Einflusse auf die Wirkung der Erdbeben.

Lehrreich ist in dieser Hinsicht Mallets Bemerkung über die Wirkungen des kalabrischen Erdbebens von 1856. Er gibt an, daß die meisten Häuser der vernichteten Ortschaften unregelmäßig aus runden, ovalen und eckigen Blöcken zusammengefügt waren, deren weite Fugen höchst unvollkommen mit schlechtem, zu wenig Sand enthaltendem Mörtel ausgefüllt waren, und daß beim ersten Stoße diese Gebäude zu einem wüsten Trümmerhaufen zusammenfielen, während vollständig gut gebaute Häuser unbeschädigt inmitten der chaotischen Verwüstung standen.

Aber nicht nur dem Grade nach weichen die Erschütterungen voneinander ab, sondern auch dem ganzen Wesen der Bewegung nach sind zwei verschiedene Klassen voneinander zu

---

[1] Von πλεῖστος (pleistos), am meisten, und σειστὸς (seistos), von Erdbeben erschüttert.

unterscheiden, die eigentlichen Stöße und die Schwingungen, die „sukkussorischen“ und die „undulatorischen“ Beben. Manchmal (z. B. am 9. November 1880 in Agram) sind durch das ganze Schüttergebiet nur Wellenbewegungen des Bodens bemerkbar, während man in andern Fällen je nach der Lokalität einen senkrecht oder schräg von unten nach oben gerichteten Stoß empfindet. Allerdings sind beide Formen insofern nicht scharf geschieden, als ein sukkussorischer Stoß nicht nur an den Stellen, wo er sehr schräg die Oberfläche trifft, als Wellenbewegung empfunden wird, sondern auch als Nachwirkung nach allen Richtungen hin eine schwingende Bodenbewegung erzeugt, wie dies eine bei zahllosen Berichten sich wiederholende Bemerkung ist: „Stoß mit nachfolgender Wellenbewegung“.

Als eine dritte Form hat man früher noch die drehende oder Wirbelbewegung genannt und glaubte gerade dieser die verheerendsten Wirkungen zuschreiben zu müssen. Als ein sehr bekanntes und oft genanntes Beispiel für diese Art der Bewegung wurden die Veränderungen genannt, die an zwei Steinobelisken vor dem Kloster des heiligen Bruno zu San Stefano del Bosco in Kalabrien bei dem Erdbeben von 1783 eintraten (s. nebenstehende Abbildung). Jeder derselben bestand außer dem Piedestal aus drei aufeinander stehenden Steinblöcken; das Piedestal blieb unverrückt an seinem Platze, die aufliegenden Blöcke dagegen wurden horizontal gedreht, ohne abgeworfen zu werden. Ähnliches wird von einem Kirchturme auf der Insel Majorca berichtet. Mehrere Fälle wurden beim Erdbeben von Belluno 1873 beobachtet, wo ein auf dem Turmdache des Domes befindlicher 5 m hoher Engel aus Bronze, der nicht fallen konnte, da eine mächtige senkrechte Eisenstange ihn festhielt, um etwa 20° um seine Achse gedreht wurde. Bei dem von Lasaulx beschriebenen ziemlich schwachen Erdbeben, das 1878 am Niederrheine stattfand, wurde an der Fronte des Polytechnikums in Aachen eine 3 m hohe Statue, die aus drei Stücken bestand, in ähnlicher Weise verschoben wie die Obelisken von San Stefano; in Agram wurden 1880 auf dem Friedhofe die Leichensteine gedreht und namentlich die Quadern an dem eben im Baue begriffenen Treppenturme des Domes drehend verschoben. Solche Erscheinungen, welche durchaus nicht sehr selten sind, deutete man früher als die Wirkungen von Wirbelstößen; jedoch mit Unrecht. Ein Wirbelstoß könnte natürlich nur ganz in seinem Zentrum einen solchen Effekt hervorbringen, weiter seitwärts würde derselbe nur wie ein einfacher Horizontalstoß wirken; verhältnismäßig so kleine Gegenstände mit geringer Basis wie z. B. ein Obelisk würden aber im Zentrum eines heftigen Bebens natürlich umgestürzt werden. Überdies lassen sich alle diese Erscheinungen sehr einfach auf andre Weise erklären, wie das durch ein von Lasaulx gegebenes Beispiel sehr gut erläutert wird: legt man ein würfelförmiges Holzklötzchen, das an seiner Unterseite, aber nicht in deren Mitte eine kleine Nadelspitze trägt, auf einen festen Tisch und drückt die Nadelspitze in diesen ein, so genügt ein horizontaler Stoß, um das Klötzchen in drehende Bewegung zu versetzen.



Ein durch das Erdbeben vom Jahre 1783 gedrehter Obelisk vom Kloster San Bruno zu San Stefano in Kalabrien.

Die sukkussorischen Erdbeben bringen in der Regel die größten Zerstörungen hervor, doch wird sehr häufig nicht genau der Oberflächenmittelpunkt, in welchem der Stoß senkrecht trifft, am meisten verwüstet, sondern der stärkste Ruin erfolgt in einiger Entfernung, wo der Stoß in etwas schräger Richtung ankommt. Bisweilen sind aber auch die

vollständig senkrechten Schläge von kolossaler Wirkung: in Kalabrien wurden ganze Häuser emporgeworfen und fielen ohne sehr große Beschädigung wieder nieder, während andre wie durch die Explosion einer Pulvermine samt den Fundamenten in die Höhe geschleudert und vollständig zertrümmert wurden. Zu Riobamba sollen im Jahre 1797 die Leichen der Einwohner über einen Bach auf einen mehrere Hundert Fuß hohen Hügel geschleudert worden sein, und bei dem chilenischen Erdbeben 1837 wurde, wie berichtet wird, ein 10 (?) m tief in die Erde gerammter Mastbaum, der überdies mit Eisenklammern festgehalten war, aus seinem Lager herausgeschnellt, ohne daß das Loch in der Erde, in welchem er gesteckt hatte, zerstört wurde. Allerdings tritt dieser „schußartige" Charakter nur verhältnismäßig selten hervor, und manches, was darüber berichtet wird, dürfte auf Übertreibung beruhen; allein auch ohne denselben ist die Wirkung sehr starker sukkussorischer Stöße eine furchtbar verheerende, obwohl die Annahme, welche das größte Unheil immer den Stößen von unten zuschreibt, auf einer Verallgemeinerung einiger sehr eklatanter Fälle zu beruhen scheint.

Den Gesamteindruck der Erscheinungen bei einem heftigen Erdbeben haben wir schon an einigen Beispielen kennen gelernt; hier mag noch eine Darstellung des kalabrischen Erdbebens von 1783 als Ergänzung in manchen Punkten folgen (mit einigen Kürzungen und unwesentlichen Änderungen nach Hoff): Der Mittelpunkt der Zerstörung zeigte sich in Calabria ulteriore in der Gegend der Stadt Oppido und der Orte Sittizano, Casoletto, Christina und Sinopoli Vecchio. Die Gegend 22 italienische Meilen im Umkreise des erstgenannten Ortes, der ebenfalls von Grund aus zerstört wurde, hat die stärkste Erschütterung erlitten, die dort senkrecht von unten nach oben wirkte; fast alle in diesem Umkreise gelegenen Städte und Dörfer wurden umgestürzt. Außerhalb dieses Gebietes stärkster Verwüstung wurde in einem weitern Umkreise von 72 Meilen Halbmesser noch große, wiewohl minder bedeutende Zerstörung angerichtet, besonders durch die Stöße vom 5. Februar und 28. März. In dem erstern kleinern Kreise liegen zahlreiche Ortschaften, darunter die zwei bedeutenden Städte Reggio in Kalabrien und Messina in Sizilien. Von Oppido wird berichtet, daß die Sonne am 5. Februar mit trübem Lichte aufging, der Himmel sich nach und nach bewölkte, sich aber wieder aufheiterte. Um Mittag zog sich ein trüber Nebelschleier allmählich durch die Atmosphäre, Windstille, wie sie oft Gewittern voranzugehen pflegt, machte die Wolken in ihrem Zuge stillstehen, und kein Luftzug war zu spüren; das Geflügel und die vierfüßigen Tiere hatten keine Ruhe, sie irrten unsicher hin und her und schienen innerlich bewegt und bestürzt. Nun folgte ein dumpfes, undeutliches Murmeln in der Luft, und plötzlich erhob sich ein Wind mit Pfeifen und sonderbarem dumpfen Geräusche; die Erde fing an, mit leichten, wellenförmigen Bewegungen zu beben. Hierauf folgte sogleich kurz nach Mittag der erste heftige Stoß, der augenblicklich die fürchterlichste Zerstörung anrichtete. Ihm folgten mehrere und namentlich in der Nacht vom 6. zum 7. noch sehr heftige und verwüstende Stöße; ja, die Erde blieb mehrere Wochen und Monate hindurch in fortwährender Bewegung. Am 1. März erfolgte wieder ein stärkerer Stoß und am 28. März eine so heftige, zwei Minuten dauernde Bewegung, daß die dadurch verursachten Zerstörungen jenen vom 5. Februar fast gleichkamen, und alles zerstört wurde, was der erste Stoß verschont hatte. Es ist bemerkenswert, daß die Wirkungen sich nur auf der Westseite der das südliche Kalabrien durchziehenden kristallinischen Gebirgskette geäußert haben, nicht aber oder nur hier und da in geringem Grade auf der Ostseite nach dem Jonischen Meere zu. Nur in der Gegend von Catanzaro erstreckte sich die Wirkung etwas weiter nach Osten hin und zwar bei dem Stoße am 28. März, der auch in Basilicata, Salerno, Neapel empfunden wurde. Gerade in der Gegend von Catanzaro befindet sich aber eine tiefe Einsenkung des Gebirges. Die kristallinische Kette selbst hat am wenigsten von den Erschütterungen empfunden, letztere haben vielmehr die an das Gebirge sich anlehnenden hügeligen, aus jungen

Gebilden bestehenden Gegenden getroffen. Das Meer in der Enge von Messina geriet bei den Erdstößen in eine Bewegung, wie sie beim Erdbeben von Lissabon bemerkt worden war; es zog sich plötzlich vom Ufer zurück, so daß man bei Scilla auf mehrere Fuß weit den Grund vom Wasser entblößt sehen konnte. Darauf kehrte es mit einer hohen Welle und mit solcher Schnelligkeit wieder zurück, daß eine Menge von Einwohnern der genannten Stadt, die sich aus ihren den Einsturz drohenden Häusern an die felsige Küste geflüchtet hatten, augenblicklich von dieser Woge weggespült und begraben und auch alle Fahrzeuge, die am Ufer lagen, in den Abgrund gerissen wurden. Sehr merkwürdig erscheint dieses Erdbeben dadurch, daß es an mehreren Stellen bleibende Änderungen in der Gestalt des davon getroffenen Bodens hervorgebracht hat. Dieselben bestanden hauptsächlich darin, daß überall, wo in der am heftigsten erschütterten Gegend enge Flußthäler und lang hingestreckte Abhänge mit etwas steilen Wänden vorhanden waren, Teile der Höhen durch die Entstehung großer Spalten abgerissen und in Vertiefungen hinabgestürzt oder auch wohl an die gegenüberstehende Thalwand hingeworfen worden sind. Dieses ist je nach der Lage des Bodens und der Heftigkeit des Stoßes zuweilen durch völliges Umstürzen, zuweilen auch nur durch Abgleiten und Niedersinken geschehen. Hier und da sind Thäler dadurch eingeengt, geschlossen oder selbst gefüllt, der Lauf der Bäche ist gehemmt worden, und an manchen Stellen sind dadurch kleine Seen und Teiche entstanden. In der Pianura di Rosarno sind gegen 50 solcher Wasserbecken gebildet worden (s. obenstehende Abbildung). Sie sind von fast kreisrunder Gestalt, wie die meisten Erdfälle; der Rand war mit vielen sternförmig ausstrahlenden Spalten zerrissen, und sie waren bis oben mit Wasser gefüllt. Dabei hat man bemerkt, daß die tiefer liegenden Schichten am gewaltsamsten zerrissen und zertrümmert wurden, während die daraufliegenden oberflächlichen Partien nur eine Ortsveränderung, eine Verschiebung erlitten haben. Große, aus lockerm Erdreiche bestehende Strecken wurden mit allen darauf befindlichen Bäumen und Pflanzungen zuweilen bis auf eine italienische Meile weit aus ihrer Stelle gerückt, ohne daß ihre äußere Gestalt und die Anordnung des Pflanzenwuchses darauf verändert waren. Auch mächtige Spalten entstanden (s. Abbildung, S. 285).



Kreisrunde Öffnungen bei Rosarno in Kalabrien, entstanden beim Erdbeben vom Jahre 1783.

Im Gegensatze zu dem Auftreten eines eigentümlich nebeligen Himmels, überhaupt unheilverkündender Witterungsverhältnisse, die hier bei dem kalabrischen Erdbeben angegeben sind, und die man vielfach als Vorboten von Katastrophen betrachtet hat, brach die Vernichtung über die Insel Chios an der Küste Kleinasiens am 3. April 1880 um 1 Uhr 42 Minuten mittags bei herrlichstem, klarem Wetter herein. Obwohl in einer durch Erschütterungen sehr heftig heimgesuchten Gegend gelegen, hatte die Insel nie sehr stark von einer solchen zu leiden gehabt. Von der entsetzlichen Verwüstung durch die Türken im Jahre 1822, nach

welcher von 110,000 Einwohnern nur 2000 übriggeblieben waren, hatte sich Chios wunderbar erholt und war, als ich die Insel im Jahre 1874 besuchte, wohl die reichste und blühendste in der Schar der Cykladen und Sporaden. „Ohne jedes Vorzeichen brach das große Unglück über Chios herein; begreiflicherweise sind genaue Beobachtungen über Erdbeben um so weniger zu gewinnen, je heftiger die Erschütterung und je unheilvoller die Folgen. Als gewiß geht aus vielen Erkundigungen hervor, daß der erste Stoß nicht so plötzlich und nicht in gleicher Weise sukkussorisch über Chios hereinbrach, wie es bei der Katastrophe von Casamicciola der Fall war. Das Erdbeben scheint nicht sogleich in den ersten Sekunden seine unerhörte Heftigkeit erlangt zu haben, viele Menschen vermochten vielmehr die Thür ihres Hauses, die Straße zu erreichen. Nach kurzer, wenige Minuten dauernder Pause begann die zweite Erschütterung, dieser folgte nach wenigen Minuten der dritte, sukkussorische Stoß von furchtbarer Wirkung, dem nach 2 Minuten ein weiterer, ebenfalls sukkussorischer folgte, mit welchem der allgemeine Einsturz der Gebäude begann. An diese erste Gruppe von Stößen reihte sich um 2 Uhr 5 Minuten eine erneute heftige Bewegung der Erde, wiederum von Einsturz von Häusern begleitet; endlich gegen 3 Uhr erneute heftige Stöße, mit denen das Zerstörungswerk dieses Tages vollendet war. Alle Erschütterungen waren von heftigen donnernden, rollenden Detonationen begleitet. Seitdem verging kein Tag ohne wiederholte, zum Teile sehr heftige Stöße; am 11. April, $7^1/_4$ Uhr abends, verwandelte ein heftiger Stoß die Ruinen der Stadt Chios in Trümmer, die noch stehenden Häuser in Ruinen. Professor Christomanos aus Athen zählte von 7 Uhr 14 Minuten nachmittags des 11. bis 7 Uhr 14 Minuten vormittags des 12. Aprils 68 Stöße. Die Verwüstungen haben sich nicht über die ganze Insel ausgedehnt, auch sind sie in dem Zerstörungsbezirke nicht von gleicher Intensität. Der Nordwesten der Insel, der südwestliche sowie der äußerste südliche Teil haben keine erhebliche Beschädigung erlitten, leider aber umfaßt das Verwüstungsgebiet gerade den blühendsten, fruchtbarsten, dicht bewohnten Teil der Insel; obgleich die Fläche, auf welcher Einstürze vorkamen, nur wenig größer ist als die Hälfte der Insel, so fielen doch von 17,000 Häusern 14,000. Es dürfte hier noch zu erwähnen sein, daß in den Antimongruben von Keramo im Nordwesten der Insel die Erschütterungen und Detonationen zwar wahrgenommen wurden, doch nennenswerte Beschädigungen weder in den Gruben noch über Tage beobachtet wurden.“ (Nach G. vom Rath.)



Eine beim Erdbeben vom Jahre 1783 entstandene Spalte am Monte Sant' Angelo in Kalabrien. Vgl. Text, S. 284.

Das Elend und der Jammer der Einwohner waren furchtbar, 3541 Menschen wurden getötet, 1160 verwundet. Sehr merkwürdig und bezeichnend für die moralische Wirkung der Erdbeben ist der Bericht, den ein Arzt auf Chios, Dr. Schwarz, an G. vom Rath sandte: „Die heftigen, oft wiederholten Gemütsbewegungen haben viele nervöse Erkrankungen

hervorgerufen. Mit Bedauern muß ich mitteilen, daß der größte Teil des jungen weiblichen Geschlechtes nach dem Beginne der Erdbeben erkrankte und zwar teils an Epilepsie, teils an spasmatischen Anfällen. Nach der ersten schrecklichen Katastrophe verließ die Mehrzahl der Bewohner die Stadt Chios, es blieb aber immer noch eine ziemliche Anzahl zurück. Wenn ein Menschenkenner jetzt diese elenden, mehr bläulich als rötlich gefärbten Antlitze erblickt, so muß ihn wundernehmen, daß Furcht und Schrecken eine solche Verwandlung bewirken können."

Wir wollen die Art und Weise hier nicht weiter berühren, wie Gebäude durch Erdbeben beschädigt werden, und wie frei stehende Gegenstände stürzen, da wir auf dieses Thema bei der Frage nach der Bestimmung der Stoßrichtung noch zurückkommen werden. Von den Wirkungen der Erschütterungen auf die Bodenverhältnisse haben wir schon einiges in den Berichten über die Vorgänge in Phokis und Kalabrien kennen gelernt; Felsenmassen lösen sich ab, es erfolgen gewaltige Bergstürze, bei denen allerdings der Erdbebenstoß wohl nur die letzte Veranlassung bietet, um die zum Abrutschen bereiten Massen in Bewegung zu bringen. Wohl das entsetzlichste Ereignis dieser Art war der Bergsturz des Dobratsch bei Villach in Kärnten. „Am 25. Januar 1348 war ein furchtbares Erdbeben, wie ein solches seit Menschengedenken nicht vorgekommen; Kirchen, Türme, Häuser stürzten ein, viele Personen wurden getötet. Besonders schrecklich waren die Verwüstungen in Friaul; der Palast des Patriarchen von Udine stürzte ein, es wurden die Kastelle von Tolmezzo, San Daniele Vensone und andre zerstört. In Venedig wurde der Canal grande trocken gelegt und viele Paläste umgestürzt, in Kärnten fanden mehr als 1000 Personen den Tod." So berichtet eine venezianische Chronik von 1607, und Schaubach sagt in seinem Werke über die Deutschen Alpen: „Der Bergsturz des Dobratsch gehört, so unbekannt er ist, zu den fürchterlichsten Erscheinungen dieser Art, und der große Bergsturz am Roßberg erscheint unbedeutend gegen diesen. Zwei Märkte und 17 Dörfer wurden begraben, das Gailthal zu einem See gedämmt, und nur mit Mühe konnte sich der Fluß eine Bahn durch die Trümmer brechen; noch jetzt sumpft das Thal aus dieser Ursache. Noch oft stößt man auf Häuser und in ihnen auf Gerippe."

Eine andre wichtige Wirkung ist die Bildung von Spalten im Boden, welche bisweilen klaffend offen bleiben, bisweilen sich auch wieder schließen. Beim Erdbeben von Riobamba in Ecuador 1797 entstanden Spalten, die sich abwechselnd öffneten und schlossen, so daß, wie Humboldt berichtet, Menschen sich dadurch retteten, daß sie beide Arme ausstreckten, um nicht zu versinken. Besonders reich an derartigen Bildungen war, wie oben erwähnt, das kalabrische Erdbeben von 1783. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigten sich an der achäischen Küste bei einem großen Erdbeben, das am 26. Dezember 1861 die Küste des Golfes von Korinth erschütterte. Wir besitzen darüber folgenden wertvollen Bericht von Julius Schmidt:

„Die merkwürdigste aller Erscheinungen fand ich diesmal in der großartigen Entwickelung der Spalten in Achaja und besonders in der Menge von sandigen, kraterartigen Kegeln, die nur im Gebiete der Spalten auftreten. Diese Bildungen sind wohl seit alters bekannt, aber selten richtig gedeutet worden. Man findet solche beschrieben in dem Hauptwerke über das kalabrische Erdbeben von 1783, und sie werden häufig noch später erwähnt bis auf unsre Zeit. Eine genaue Erörterung dieser Vorgänge scheint mir wünschenswert, um das Thatsächliche festzustellen und das Gebiet der Hypothese zu beschränken. Ich war vom Glücke begünstigt, daß ich, wenn auch nicht auf dem Hauptschauplatze, sondern zu Kalamaki[1] am Saronischen Meerbusen, wenige Minuten nach dem Erdbeben und auf dem noch

---

[1] Der Hafenplatz an der Ostseite des Isthmus von Korinth.

sinkenden Meeresstrande die Entstehung und Ausbildung der Spalten und Sandkrater in vielen zwar kleinen, aber höchst deutlichen Beispielen beobachten konnte. Es mochten 10—15 Minuten vergangen sein, als ich den südlichen Teil von Kalamaki erreichte; der genannte Kai zieht von Südwest nach Nordost und endet gegen Norden an dem Molo. Zwischen dem Kai und der östlichen Häuserreihe zieht die breite Straße, die südlich im Sande der Küste endet. In dieser Straße, namentlich in ihrem südlichen Teile, wo schon am 21. Februar 1858 ähnliche Erscheinungen vorgekommen waren, bildeten sich Spalten, und hier war es, wo auch die stärkste Senkung des Hafendammes stattfand, dessen südliches Ende schon untergetaucht war, als ich hinkam. Mein Dragoman befand sich an jener Stelle mit vielen Leuten gerade im Beginne des Erdbebens, und alle sahen und fühlten die langsame und sanfte Senkung des Bodens. Später, als ich dieses Gebiet zeichnete, ehe es vom Verkehre undeutlich gemacht wurde, ließ sich das fernere Sinken nur noch durch Messung nachweisen, und gegen 10 Uhr morgens hörte die Bewegung auf. Die Spalten waren zahlreich, 30—40 Schritt lang, aber nur selten eine Spanne breit; sie waren nicht tief, sondern ausgefüllt mit flüssigem, blaugrauem Schlamme und Sande, so daß nach teilweisem Austritte dieser Materien sich kleine Pfützen gebildet hatten. Die mittlere Richtung der Spalten war Südost-Nordwest, ungefähr der dortigen Küste parallel; doch fehlte es nicht an stärkern Krümmungen, und wo diese vorkamen, war die hohle Seite der Kurven gegen Westen gerichtet. In den feinern Spalten nun war es, wo sehr zarter weißer Sand bald in einzelnen Flecken, bald in größerer Erstreckung hervortrat. In vielen Fällen hatte es bei diesem Vorgange sein Bewenden; aber überall, wo Luftblasen aufstiegen, dem Geruche nach Schwefelwasserstoff enthaltend, war die Kraft der Blasen und des nachdringenden Seewassers und Schlammes groß genug, um kleine Sandkegel zu bilden, 1—5 Zoll breit, sehr flach geformt, mit kaum 20° geneigten Seitenflächen. An ihrem Gipfel platzten die Luftblasen, und so entstanden zierliche, kleine Krater, deren mitunter 2—4 oder auch noch mehr durch einen Kanal verbunden waren. Oft floß Wasser heraus, oft auch weißer, salziger Schlamm. Das Thermometer, in die kleinen Krater gestellt oder in den Grund der Spalten sowie in das Meer, gab überall nur die Temperatur des Meeres. Bis gegen 11 Uhr, als ich abreiste, hörte die Bildung der Sandkegel bereits auf. Nach meiner Rückkehr im Januar sah man nur noch die Spuren der größern Spalten.

„Unvergleichlich viel bedeutender waren die ähnlichen Erscheinungen in Achaja, zwischen der Mündung des Meganitas, westlich von Ägion, und der Mündung des Erasinos, östlich von Ägion, in einer Erstreckung von nicht ganz 3 geogr. Meilen; mehr als jede Beschreibung wird die Abbildung auf S. 288 das Verständnis dieser merkwürdigen Bodenveränderung fördern. Die ganze Ebene von Achaja ist flaches, angeschwemmtes Land, eine Deltabildung mehrerer Flüsse. Ausgenommen sind nur der felsige Vorsprung von Diakoptas und das Hügelgebirge, auf welchem Ägion liegt. Der Boden besteht aus Humus, Lehm, Sand und Gerölle, die von den Bergströmen herabgeführt werden. Der Sand ist weißer Sand und nur in der Nähe der Flußmündungen mit groben Geröllen gemischt. Das Ansteigen der Ebene gegen die Berge südwärts ist unbedeutend und mag 60—90 Fuß betragen. Indem jene Ebene sich im Laufe der Jahrtausende bildete, ein Produkt der aus dem Peloponnes herabkommenden Flüsse, hatte sie von Anfang an keine feste Verbindung mit den steil geneigten Abhängen der hohen Berge, welche die südliche Grenze der Ebene bilden. Sie war die Oberfläche einer mächtigen Schutthalde, deren Fuß im Grunde des Meeres stand, und die sich an die Flanken der Berge anlehnte. Die große Erschütterung des nahen Erdbebenherdes, die sehr ungleichförmige Fortpflanzung der Stoßwellen in heterogenen Ablagerungen bewirkten mit Leichtigkeit die Lostrennung der Alluvionenmasse von den geneigten Abhängen des Grundgebirges, so daß jene in eine abwärts gleitende Bewegung gegen Norden geriet.

So entstand zunächst eine 13,000 m lange, bis 2 m und mehr breite Spalte, welche sich von Punta bis Gardena hart am Fuße der Berge hinzog. In dieser Bewegung der ganzen Ebene, indem sie sich bei der erwähnten Stelle 2 m und mehr senkte, neigte sie sich schwach gegen Norden, und es mußte notwendig ihr Küstensaum bleibend unter dem Meeresniveau verschwinden. Die Länge des untergetauchten Saumes wird auch annähernd 13,000 m betragen; die Breite desselben wechselt von 100 bis 200 m und ist namentlich groß bei Diakophtitika und Taratza, dort, wo ehemals etwas nördlicher Helike lag, welche Stadt im Erdbeben 373 v. Chr. vom Meere verschlungen wurde. Gegen Westen nimmt die Breite des versunkenen Saumes ab, und ich schätze sie bei Temenion nur auf 10—20 m. Ich schließe, daß ungefähr 1,300,000 qm



Sandkrater und Spalten, entstanden nach dem achäischen Erdbeben vom 26. Dezember 1861. Im Hintergrunde ragen die Gipfel versunkener Bäume aus dem Wasser hervor (nach J. Schmidt). Vgl. Text, S. 287.

von dem Küstenstriche der Ebene verloren gingen. Der Raum, der vorwiegend von zahllosen Spalten zerrissen ward, umfaßt etwa $6^1/_2$ qkm, die Fläche der ganzen gesunkenen Ebene etwa 13 qkm. Von 13 Dörfern, die auf diesem Gebiete lagen, wurden zwei vollständig zerstört, die meisten andern schwer beschädigt, nur eins blieb fast unberührt. So ging einst Helike durch ein völlig ähnliches, nur viel gewaltigeres Ereignis zu Grunde, als durch ein Erdbeben die ganze Ebene in abwärts gleitende Bewegung geriet und die alte, schon von Homer erwähnte Seestadt mit allen ihren Bewohnern plötzlich ins Meer versenkte.

„Eine so große Masse, die sich auf stark geneigter, unregelmäßiger Fläche senkte, mußte vielfach zerreißen. Durch die ungleiche Bewegung der Teile mußten zahllose Spalten entstehen; diese waren im ganzen der Küste parallel sehr verzweigt und durch Querrisse mit benachbarten Spalten verbunden, dabei teilweise so breit, daß ich sie weder zu Fuße noch zu Pferde überschreiten konnte. Nie waren sie mehr als 4 oder 5 Fuß tief und stets

mit Erde, Sand und Schlamm ausgefüllt. Es zeigte sich aber auch die vom kalabrischen Erdbeben her bekannte sternförmige Zerklüftung des Bodens in großen und ausgezeichneten Beispielen. Von einem 2—3 m breiten Loche aus erstrecken sich strahlenförmig gerade oder gewundene Spalten, die unter sich wieder durch feine Querrisse verbunden waren. Solche Stellen waren oft die Zentren der Sandkegel und Sandkrater.

„Verbunden mit dem eben beschriebenen Hergange des ungleichförmigen Sinkens war ferner notwendig ein ungleicher, vielfach und rasch wechselnder Druck, so daß also leichter bewegliche Massen, wie Wasser, Schlamm und Sand, stark gequetscht, genötigt waren, den Weg des geringsten Widerstandes zu suchen, und so durch schon vorhandene oder momentan sich bildende Spalten allein durch Druck oder Pressung an die Oberfläche gelangten. War dieser Druck stark und schnell, so konnten sich Sand und Schlamm zu Kegeln auftürmen, und traten noch mächtige Wasserstrahlen und gewaltsam getriebene Gasmassen dazu, so kam es zur Bildung von Kratern auf diesen Kegeln, an deren Gipfeln die flüssige Masse ausgeworfen wurde. Daß dieser Hergang so und nicht anders erfolgte, sah ich, wie schon erwähnt, an kleinen Spalten und Sandkegeln zu Kalamaki; was sich in Achaja im großen ereignete, war genau dasselbe. Der Umstand, daß ich bei keinem Kegel Neigungswinkel der Außenflächen von 30° fand, beweist, daß nicht nur sehr feuchte Massen ausgetrieben wurden, sondern daß die Krater auch Wasser in Menge ergossen, wodurch die Steilheit der Kegel vermindert ward. In der östlichen Ebene zählte man die Kegel nach Hunderten; den Durchmesser des Fußes bei dem größten unter ihnen fand ich zu 20 m, dessen schön erhaltener Krater aber war kaum 1 m breit; er war wenig tief, sanft ausgehöhlt mit abgerundeten Rändern. Auf seinem Grunde zeigten sich zwei Löcher von etlichen Zoll Durchmesser, und aus diesen waren Rollsteine, schwarze Holzstücke, Teile von Baumzweigen mit dem Wasser aus dem Sande ausgeworfen worden. Weiter gegen Westen nahm die Größe der Sandkegel ab, und die Krater wurden seltener, wobei jedoch zu beachten, daß diese Bemerkungen fast einen Monat nach dem Erdbeben datieren. Bei Valomytika sah ich am Orte des versunkenen Strandes hohe Schilfshalme, Gartengesträuch, Mandel- und Ölbäume aus dem Meere aufragen."

Aus dieser Darstellung sowie aus jener des Erdbebens von Kalabrien lernen wir die eigentümlichen Veränderungen kennen, welche bei heftigen Erdbeben im Boden entstehen und namentlich da besonders hervortreten, wo junge Anschwemmungen den Boden zusammensetzen; eine vollständige Zerrüttung der oberflächlichen Lagen kann hier eintreten. Welche Bedeutung unter Umständen die Spalten und Abrutschungen an denselben annehmen, zeigt am besten ein Ereignis, welches bei dem Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 eintrat: „Ein an der Küste neuerbauter Marmorkai sank bei den Stößen mit einer großen Menge Menschen, die auf demselben Rettung gesucht hatten, in die Tiefe, und alle an demselben vor Anker liegenden Fahrzeuge wurden mitgerissen; nie kam mehr etwas von denselben zum Vorscheine. Die Tiefe des Meeres an der Stelle, wo der Kai eingesunken war, fand sich nach der Katastrophe zu 100 Faden (600 Fuß)."

Die **kraterartigen Kegel**, welche, wie in Achaja und Kalabrien, sich öfters gebildet haben, verdienen noch eine besondere Bemerkung. Auch bei dem Erdbeben in Agram trat die Erscheinung in schwachem Maße ein und erregte nicht geringe Angst, da die ohnehin schon durch die Stöße im höchsten Grade erregten Bewohner glaubten, daß sich nun unter ihren Füßen ein Vulkan bilden und mit seinem Feuer alles verschlingen würde. Trotzdem handelte es sich in diesem Falle wie immer nur darum, daß durch das Beben die Bodendecke zerriß und das unter derselben befindliche Grundwasser durch dieselbe Erschütterung zusammen mit Sand und Schlamm hervorspritzte. In großartigster Weise ist dieser Vorgang in Indien im Mündungsgebiete des Ganges und Brahmaputra beobachtet worden: „Am 2. April 1762 wurde ein großer Teil der Niederung von Chittagong im Osten

bis weit gegen Westen und landeinwärts, insbesondere die Gegend von Dakka, aufs heftigste erschüttert; die Wasser stürzten wie eine brausende See mit ihren Gerinnen über das Land, weit und breit öffneten sich Spalten, Wassermengen wurden viele Fuß hoch aus dem Boden emporgeworfen, und dabei sank das umliegende Land ein. Am 10. Januar 1869 trat ein heftiger Erdstoß in der Provinz Kachar östlich vom Brahmaputra ein und veranlaßte große Veränderungen in den Alluvien. Auf viele Quadratmeilen hin liegen hier 10—13 m von härterm Thone auf einer mit Wasser gesättigten Lage von blauem Silte. Nun sah man meilenweite Sprünge längs der Flüsse entstehen und ebenso meilenweit die obere Lage des Schwemmlandes auf der wasserreichen Unterlage gegen die Flüsse abgleiten. Der Silt drang durch die klaffenden Sprünge herauf; zuerst kam mit der Heftigkeit eines Kanonenschusses trockner Staub, so daß man wohl meinen konnte, es schieße Rauch empor, aber sofort folgte der zähe Schlamm, welcher eine Lippe um die Öffnung bildete und wohl auch abfloß. Als die Erschütterung vorübergegangen war, sah man den Alluvialboden von den großen Sprüngen durchzogen, welche an vielen Orten durch Senkung der einen Seite des durchschnittenen Landes zu wahren Verwerfungsklüften wurden und dann an der Oberfläche nur als niedrige Abstürze erschienen, und zwischen oder auf diesen Sprüngen standen runde oder elliptische kraterähnliche Öffnungen, oft umgeben von einem Walle von Sand und Schlamm. Bei vielen der größern Öffnungen waren jedoch nach dem Hervorbrechen Sand und Schlamm wieder in die Öffnung zurückgeströmt und hatten dabei deren Kante mit hinabgerissen, so daß nur eine unregelmäßige, trichterförmige Tiefe zurückblieb.“ (Nach Sueß.)

Wir haben hier mehrfach Senkungen als eine Folgeerscheinung von Erdbeben kennen gelernt; in der Regel wird jedoch auch das Auftreten von **Hebungen** großer Strecken als eine durch Erdbeben hervorgerufene Erscheinung angeführt. Beim chilenischen Erdbeben 1822 ebenso wie bei gewissen Vorgängen im Mündungsgebiete des Indus soll dies in sehr merklicher Weise der Fall gewesen sein. Diese Angaben sind mehrfach, z. B. von C. **Fuchs**, in Zweifel gezogen worden, und in jüngster Zeit hat **Sueß** zu zeigen gesucht, daß alle diese Nachrichten unzuverlässig und widersprechend sind, so daß kein einziger verbürgter Fall vorliegt, in welchem eine Hebung bei einem Erdbeben stattgefunden hätte. Wir werden bei einem andern Anlasse nochmals auf diese Frage zurückkommen müssen, hier mag nur ein Einwurf besprochen werden, der sich fast von selbst aufdrängt: Wir haben als eine sehr verbreitete Form der Erschütterungen die sukkussorische kennen gelernt, bei welcher ein von unten nach oben wirkender Stoß auftritt; es liegt nun die Annahme nahe, daß wir es bei diesen Bewegungen, bei welchen z. B. Steine, die Dächer der Häuser, ja diese selbst in die Höhe geschleudert und ein Mastbaum aus dem Lager, in dem er eingerammt war, senkrecht herausgeschnellt wurde, daß wir es hier mit einer nach aufwärts gerichteten hebenden Kraft zu thun haben. Diese Folgerung ist aber unrichtig. Denken wir uns im Gegenteile, daß bei dem Erdbeben eine Partie der Erdrinde absinkt, so werden wir an der Oberfläche nicht diese Bewegung nach abwärts als solche bemerken, sondern das Auffallen **nach** der Bewegung und dieses in Form eines senkrecht nach oben gerichteten Stoßes. **Lasaulx** führt hierfür einen sehr schönen Beleg an: In dem Kohlenwerke Königshütte in Oberschlesien waren aus einer Strecke die Kohlen in einer Mächtigkeit von 24 Fuß abgebaut worden, und durch Einsturz des entstandenen Hohlraumes wurde eine mit Detonation verbundene Erschütterung hervorgerufen, die im Umkreise einer Stunde deutlich als Erdbeben empfunden wurde. In der unmittelbaren Umgebung des Schachtes aber sprangen einzelne Gegenstände in die Höhe „wie ein Ball“.

Das in diesem Falle vernommene **unterirdische Geräusch** begleitet, wie schon in mehreren Berichten hervorgehoben ward, in der Regel die Erdbeben. Gewöhnlich wird dasselbe als ein Donner, als ein Rollen geschildert, welches die Erschütterung begleitet,

ihr vorangeht oder nachfolgt; sonderbarerweise aber hört man bisweilen sehr lautes Geräusch dieser Art ohne die mindeste Bewegung des Bodens. Ein solcher Fall wurde von Partsch auf der dalmatischen Insel Meleda beobachtet, deren Bewohner durch die häufigen und stets wiederkehrenden Detonationen in hohem Grade geängstigt waren. Das merkwürdigste Beispiel aber bilden die durch Humboldts Schilderung in weiten Kreisen bekannt gewordenen Bramidos (Gebrüll) von Guanaxuato in Mexiko: „Diese berühmte und reiche Bergstadt liegt weit von allen Vulkanen. Das Getöse dauerte seit Mitternacht des 9. Januars 1784 über einen Monat. Es war, als lägen unter den Füßen der Einwohner schwere Gewitterwolken, in denen langsam rollender Donner mit kurzen Donnerschlägen abwechselte. Das Getöse verzog sich, wie es gekommen war, mit abnehmender Stärke. Fast alle Einwohner verließen vor Schrecken die Stadt, in der große Massen Silberbarren angehäuft waren; die mutigern kehrten, an den unterirdischen Donner gewöhnt, zurück und kämpften mit der Räuberbande, welche sich der Schätze bemächtigt hatte. Weder an der Oberfläche der Erde noch in den 1500 Fuß tiefen Gruben war irgend ein leises Erdbeben bemerkbar. In dem ganzen mexikanischen Hochlande ist nie vorher ein ähnliches Geräusch vernommen worden, auch hat in der folgenden Zeit die furchtbare Erscheinung sich nicht wiederholt."

Seebeben.

Noch bleibt uns die Besprechung einer großartigen Erscheinung übrig: die Wirkung der Erdbeben auf das Wasser des Meeres. Sehr häufig tritt gleichzeitig oder unmittelbar nach großen Erschütterungen der Küste eine gewaltige Bewegung des Wassers, ein Seebeben, ein. Sind auch noch nicht alle Einzelheiten dieses Vorganges erklärt, so ist doch so viel sicher, daß wir es mit einer Wellenbewegung des Wassers zu thun haben, welche durch das Beben des Meeresbodens und den seitlichen Stoß der erschütterten Küste hervorgebracht wird, ebenso wie das Wasser in einer Schüssel Wellen wirft, wenn diese angestoßen wird. Eine gewaltige Woge, die höchste Springflutmarke weit überschreitend, stürzt sich auf das Land, überschüttet es und reißt in ihrem Rückzuge alles mit sich fort; mehrmals nacheinander wiederholt sich in der Regel die Flut, bis das Wasser wieder zur Ruhe kommt.

Bei dem Erdbeben von 1699 lag bei Catania der Strand auf eine Strecke von 2000 Klafter trocken, und bei andern Erschütterungen sollen die trocken liegenden Strecken sogar noch bedeutend höher gewesen sein; erst nach längerer Zeit, in einem Falle nach drei Stunden, kehrt das Wasser als riesiger Wellenberg zurück und ergießt sich über den Strand. Das sehr lange dauernde Ausbleiben des Meeres ist aber in seiner Ursache noch nicht hinreichend erklärt. Auch ist noch nicht mit genügender Sicherheit die Art und Weise des Beginnes festgestellt. Bei einigen Stößen, z. B. dem von Arica 1873 und dem von Iquique, ist jedoch konstatiert, daß das Meer zuerst anstieg und erst dann zurückebbte, während in andern Fällen umgekehrt zuerst der Rückzug des Wassers beobachtet wurde. Es werden also noch viele Beobachtungen zur Klärung dieses Gegenstandes nötig sein.

Bei einigen der verderblichsten Erdbeben wurden der meiste Schade und die größte Vernichtung von Menschenleben durch diese Fluten hervorgebracht; so z. B. bei dem Erdbeben von Lissabon. Gleich nach dem ersten Stoße, der kurz vor der höchsten Flutzeit eintrat, erhob sich die Erschütterungswoge und stieg um 16, nach andern um 40 Fuß höher als die höchste Mondflut. Wie im Anfange dieses Abschnittes geschildert wurde, richtete sie furchtbare Verwüstung an, und die Mehrzahl der zu Grunde gegangenen Menschen fanden auf diese Weise den Tod; die Zahl der Toten wird auf 60,000 (?) angegeben. Bei einem heftigen Erdbeben, das am 28. Oktober 1724 die Stadt Lima in Peru zerstörte, wurde gleichzeitig

die Hafenstadt Callao von einer 80 Fuß hohen Woge überflutet, welche alle Gebäude niederriß und fast die ganze Einwohnerschaft vernichtete. Von 23 im Hafen liegenden Schiffen wurden 19 unmittelbar versenkt, während die 4 übrigen eine Stunde weit landeinwärts getragen wurden und dort auf dem Trocknen zurückblieben.

Außerordentlich groß ist die Verbreitung der Erdbebenfluten. Wie schon früher erwähnt (s. S. 277), pflanzten sich die Wogen, die am 1. November 1755 an der portugiesischen Küste entstanden waren, über den ganzen Atlantischen Ozean nach Amerika fort; die Wellen der südamerikanischen Erdbeben setzen über den Stillen Ozean, erreichen einerseits die Küsten von Australien und Ostasien und reißen anderseits die Ränder des antarktischen Eiswalles auf, während die von Japan ausgehenden sich an der kalifornischen Küste brechen. Auf ungeheure Entfernung richten sie großen Schaden an, und wie oft mögen sie das furchtbarste Elend über die Einwohner der niedern Koralleninseln im Stillen Ozeane bringen, deren nur wenige Fuß über das Meer sich erhebende Wälle von ihnen überflutet werden, ohne daß eine Kunde von diesen Katastrophen zu uns bringt.

Interessant sind die Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wogen. Hochstetter hat bei dem Erdbeben von Arica am 13. August 1868 gefunden, daß die Schnelligkeit der Seebebenwellen genau mit derjenigen der täglichen Mondflut übereinstimmt. Es ergaben sich dadurch Anhaltspunkte, um die mittlere Tiefe des Stillen Ozeanes zu berechnen, wie das schon früher von Bache geschehen war. Die Auffassung Hochstetters wurde später durch Untersuchungen von Geinitz über die Welle des Erdbebens von Iquique am 9. Mai 1877 bestätigt. Hochstetter fand folgende Werte:

Weg der Welle	Entfernung in Seemeilen	Zeitdauer der Reise	Geschwindigkeit pro Stunde in Seemeilen
Von Arica bis Valdivia	1420	5 Stunden	284
„ „ bis New Castle	7380	16 Stunden 2 Min.	319
„ „ nach den Chathaminseln	5520	15 „ 19 „	360
„ „ nach der Insel Oparo (Tubuaigruppe)	4057	11 „ 11 „	362
„ „ nach Honolulu	5580	12 „ 37 „	442

Die Sintflut.

Es mag hier gestattet sein, im Anschlusse an die Betrachtung der Erdbebenwogen ein furchtbares Ereignis aus der frühen Geschichte der Menschheit zu besprechen, die Sintflut. In den Traditionen zahlreicher Völker hat sich die Erinnerung an diese heftigste Katastrophe erhalten, welche je vorfiel, soweit die Überlieferung berichtet, und es kann wohl kein Zweifel darüber bestehen, daß diesen Berichten eine wirkliche Begebenheit zu Grunde liegt; aber ebenso sicher steht fest, daß eine Überschwemmung, die bis zu den höchsten Gipfeln der Berge alles bedeckte, ein Ding der Unmöglichkeit, daß die Form, in der uns allen jener Vorgang geläufig ist, eine unrichtige ist. Die Geologie hat sich mit dieser Frage in eingehendster Weise beschäftigt, ohne zu einem endgültigen Ergebnisse zu gelangen, wenn man auch vielfach geneigt war, als Ursache einer gewaltigen Überflutung das Abschmelzen der riesigen Gletschermassen am Ende der Eiszeit zu betrachten. In neuester Zeit hat Sueß dieses Problem von einem ganz andern Gesichtspunkte aus wieder in Betracht gezogen und ist zu einer Lösung gelangt, welche viel Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Die meiste Ähnlichkeit mit dem biblischen Berichte hat die Darstellung der Flut, welche man auf den mit Keilschriften bedeckten Thonscherben der alten assyrischen Ruinenstädte

gefunden hat. Die Ausgrabungen in Ninive haben diese kostbaren Ziegeltrümmer zu Tage gefördert, auf denen meist unter der Regierung des Assurbanipal im 7. Jahrhundert v. Chr. eine Reihe älterer Werke kopiert worden war. Unter anderm wurde ein in zwölf Gesängen abgefaßtes Epos, das Izdubarlied, entdeckt, welchem die Erzählung der Sintflut als Episode eingefügt ist. Der Held Izdubar zieht nach der Mündung des Euphrat und Tigris hinab, wo sein zum Gott gewordener Ahn Hasis-Adra, der assyrische Noah, ein unsterbliches Leben führt, und dieser erzählt ihm die Ereignisse seines Lebens und seine Rettung aus der Flut: Die großen Götter haben beschlossen, die uralte Stadt Surippak, in der Nähe der damaligen, noch weiter landeinwärts gelegenen Euphratmündung, durch eine Flut zu vernichten. Ea, der Gott des Meeres, warnt Hasis-Adra und heißt ihn auf trocknem Lande ein Schiff bauen und all sein Hab und Gut, Proviant, seine Familie, Vieh und Wild hineinbringen. Nach einiger Weigerung baut Hasis-Adra das Schiff, dichtet die Außen- und Innenseite mit Erdpech, befrachtet es mit seinen Schätzen, mit verschiedenen Tieren und mit Korn und zieht sich mit den Seinen in dasselbe zurück. Nun erheben sich Sturm und Ungewitter, Wasser bricht aus der Erde hervor, und der Wettergott bringt die Fluten; Finsternis bricht ein, sechs Tage und sieben Nächte dauert die Verwüstung. Endlich läßt der Sturm nach, es wird wieder hell, und das Wasser verläuft sich, das Schiff aber strandet an den die Tiefebene Mesopotamiens umsäumenden Höhen von Nizir, einer etwas südöstlich von Ninive gelegenen Landschaft. Dann sendet Hasis-Adra, wie Noah, Vögel aus, der große Gott Bel schwört, keine Sintflut mehr eintreten zu lassen, die Göttin Istar hebt zur Bekräftigung den großen Bogen des Ani in die Höhe (die Erscheinung des Regenbogens) rc.

Die Übereinstimmung zwischen dem Berichte der Bibel und demjenigen des Izdubarliedes ist eine so außerordentlich große, daß beide aus derselben Quelle geschöpft sein müssen oder der eine aus dem andern hervorgegangen ist, und es entsteht nun die Frage, welche von beiden die ursprünglichere ist, die hebräische Überlieferung aus dem Jordanthale oder die assyrische aus den Niederungen des Euphrat. Für die letztere spricht schon das Fehlen jener unmöglichen Angaben von der Überflutung der höchsten Berge und ferner die in derselben bekundete bessere Bekanntschaft mit der Schiffahrt. Zudem zeigt das Izdubarlied eine deutliche Lokalfarbe, es bezieht sich vielfach auf Orte und Verhältnisse des Euphratthales, während dem biblischen Berichte ein Anklang an Palästina fehlt; von Bedeutung aber ist es, daß die Überlieferung von Noah Züge enthält, welche augenscheinlich aus Mesopotamien herübergenommen sind. Hasis-Adra hat sein Schiff außen und innen mit Erdpech gedichtet, und auch von Noah wird dasselbe erzählt. Es muß sehr auffallen, daß dieser nebensächlich scheinende Umstand in beiden Urkunden ausdrücklich betont wird; ja, es wäre kaum verständlich, wenn eine gewöhnliche Schiffszimmerung vorläge. Die Bedeutung wird uns aber sofort klar, wenn wir den Bericht des Reisenden Cernik lesen, wonach noch heute am Euphrat die zum Petroleumtransporte dienenden Schiffe gebaut werden: „Man begnügt sich, ein rohes Korbgeflecht zu erzeugen, ohne Kiel, mit Tamariskenknüppeln als Rippen, die Zwischenräume mit Stroh- und Rohrgeflecht ausgefüllt und der ganze Bau sodann über Gebühr sowohl außen als innen mit einer Lage Asphalt verputzt. Nichtsdestoweniger besitzen diese Fahrzeuge ein bedeutendes relatives Tragvermögen.“ Die Schiffe werden dort also noch heute in derselben Weise erbaut wie vor Jahrtausenden, und noch heute wird das wichtige Material dazu den reichen Asphaltlagern jener Gegend entnommen, die schon für die Bauten Nimrods das Bindemittel geliefert haben. Aus all dem und einer Reihe ähnlicher Anhaltspunkte erhellt, daß die assyrische Überlieferung die ursprüngliche ist, aus welcher die biblische entlehnt wurde, und daß der Schauplatz der Katastrophe in den weiten Niederungen des Euphrat und Tigris gesucht werden muß.

Nachdem dieses Resultat erzielt ist, stellt sich die zweite Frage ein: Welche Naturerscheinungen brachten jene Überschwemmung hervor? Man könnte an heftige Regengüsse denken, welche ein beispielloses Anschwellen der Flüsse verursachten, wodurch in jener weiten Tiefebene, wo auf große Strecken kein Hügel und kein Berg eine Zuflucht gewährt, die furchtbarsten Verwüstungen entstehen mußten. Allein dem widerspricht eine Thatsache: eine solche Flut müßte natürlich in ihrem ganzen Verlaufe von oben nach unten gerichtet sein, sie müßte das Schiff des Hasis-Adra in den Persischen Meerbusen hinaustragen, während es in Wirklichkeit von dem nahe der Mündung gelegenen Surippak weit landeinwärts getrieben wurde. Die Richtung der Strömung ging also nicht thalabwärts, sondern sie kam vom Meere gegen das Land. Es ist dabei zu bemerken, daß auch im biblischen Berichte die Ankündigung der Flut eine ebensolche Deutung zuläßt. Dieselbe lautet zwar nach der gewöhnlichen Übersetzung: „Ich will eine Sintflut mit Wasser kommen lassen"; allein nach dem hebräischen Texte ist die Deutung ebenso zulässig, welche sagt: „Eine Sintflut vom Meere her".

Wenn die Flut vom Meere herkam, so ist der Bereich der Möglichkeiten schon bedeutend eingeengt, denn wir kennen nur zwei Faktoren, welche im stande sind, das Wasser des Meeres in so gewaltigen Massen landeinwärts zu treiben, daß sie Verwüstungen der schrecklichsten Art anrichten: die eine Möglichkeit bieten die Erdbebenwogen, die wir besprochen haben; aber noch verderblicher in ihren Wirkungen sind die Wirbelstürme in den tropischen und subtropischen Regionen, wenn sie ungeheure Wassermassen gegen flache Küsten treiben und in den Mündungen großer Flüsse das Wasser stauen. Solche Ereignisse treten z. B. nur zu häufig ein, wenn ein Cyklon sich durch den Golf von Bengalen nach Norden bewegt und sich auf das Delta des Ganges und Brahmaputra stürzt. Bei einer derartigen Sturmflut, welche in der Nacht vom 11. auf den 12. Oktober 1737 losbrach und mit einem Erdbeben in Verbindung stand, soll sich das Wasser des Ganges 40 Fuß über seinen gewöhnlichen Stand erhoben und die Zahl der Ertrunkenen gegen 300,000 betragen haben. Noch die letzten Jahre brachten ein Ereignis von ähnlich furchtbaren Folgen, über das man in weitern Kreisen nur wenig erfahren zu haben scheint. In der Nacht vom 31. Oktober zum 1. November 1876 erreichte ein äußerst heftiger Wirbelsturm die Mündung des Brahmaputra, gerade nachdem im Laufe der Nacht eine außergewöhnlich hohe Springflut eingetreten war, deren Wasser eben zurückebbte. Die Sturmwoge und die noch nicht abgeflossenen Wasser der Mondflut vereinigten sich und wurden mit furchtbarer Gewalt landeinwärts getrieben, so daß ein Raum von 141 geogr. QMeilen 45 Fuß hoch überschwemmt und von einer Bevölkerung von etwa einer Million Menschen 215,000 nach dem einen Berichte, 100,000 nach dem andern ertränkt wurden. Die übrige Bevölkerung scheint der vollständigen Vernichtung nur dadurch entgangen zu sein, daß sie sich auf hohe Bäume flüchtete, die in jener Gegend alle Häuser umgeben.

Wenn wir nun weiter prüfen, welcher Ursache die Sintflut zuzuschreiben ist, so finden wir zunächst in dem Izdubarliede die wichtige Andeutung, daß Hasis-Adra von Ea, dem Gotte des Meeres und der Tiefe, gewarnt wird und auf Veranlassung desselben ein Schiff baut. Dies ist wohl nur so zu verstehen, daß der Hauptkatastrophe eine Periode schwächerer Erdbeben voranging, welche leichtere Fluten veranlaßten und Hasis-Adra auf die glückliche Idee brachten, sich ein Schiff zu bauen, um sich im Falle einer stärkern Wiederholung in dasselbe flüchten zu können. Ferner heißt es: „Adar läßt unaufhörlich die Kanäle überströmen, Annunaki (Geister der Tiefe) bringen Fluten herauf, die Erde machen sie erzittern durch ihre Macht"; und übereinstimmend lautet der biblische Bericht: „Der Tag, da aufbrachen alle Brunnen der Tiefe". In der Izdubarerzählung ist also das Erzittern des Bodens direkt genannt, und in den Brunnen der Tiefe, den Wassern, welche die Annunaki heraufbringen, können wir nichts andres sehen als jenen früher geschilderten Vorgang, daß bei

Erdbeben häufig in den Anschwemmungsgebieten der Ströme sich Spalten bilden, aus denen das Grundwasser mit Gewalt hervorbricht, eine Erscheinung, die hier mit mächtiger Energie eingetreten zu sein scheint.

Aber nicht alle Überlieferungen passen auf die Annahme einer Erdbebenflut; unter den Göttern, welche thätig sind, wird vor allen Ramman, der Gott des Wetters, genannt: „Rammans Wogenschwall steigt zum Himmel“, und es ist die Rede von heftigem Sturm und Finsternis, wie sie bei Cyklonen oft eintritt, so daß man die hervorragende Mitwirkung meteorologischer Faktoren voraussetzen muß. In der That sind einige Fälle bekannt, in welchen Erdbeben mit Cyklonen oder sonst mit sehr heftigen Stürmen gleichzeitig eingetreten sind. Wir werden weiterhin sehen, daß ein Zusammenfallen von Erdbeben mit tiefen Barometerständen und den sie begleitenden Witterungserscheinungen zu häufig eintritt, als daß ein Zusammenhang beider geleugnet werden könnte, wobei allerdings der niedrige Luftdruck nicht als die Ursache, sondern nur als der letzte Anstoß betrachtet werden kann, der das labile Gleichgewicht von Teilen der Erdrinde aufhebt, im übrigen aber keine größere Rolle spielt als der Funke, der die längst vorbereitete Mine zum Explodieren bringt.

Wir sind dem Gedankengange gefolgt, durch welchen Sueß die furchtbare Katastrophe erklärt, deren Überlieferung für die gesamte Anschauung eines großen Teiles der Menschheit von weittragender Bedeutung geworden ist und auch auf die Entwickelung der Geologie einen ungeheuern Einfluß ausgeübt hat. Die Ergebnisse seiner Untersuchung faßt Sueß in den folgenden Worten zusammen:

„1) Das unter dem Namen Sintflut bekannte Naturereignis ist am untern Euphrat eingetreten und war mit einer ausgedehnten und verheerenden Überflutung der mesopotamischen Niederung verbunden.

„2) Die wesentlichste Veranlassung war ein beträchtliches Erdbeben im Gebiete des Persischen Meerbusens oder südlich davon, welchem mehrere geringere Erschütterungen vorausgegangen sind.

„3) Es ist sehr wahrscheinlich, daß während der Periode der heftigsten Stöße ein Cyklon aus dem Persischen Golfe von Süden her eintrat.

„4) Die Traditionen andrer Völker berechtigen in keiner Weise zu der Behauptung, daß die Flut über den Unterlauf des Euphrat und Tigris hinaus oder gar über die ganze Erde gereicht habe.

„In schlichten Worten stellen sich dem Geologen die Hauptzüge etwa in folgender Weise dar: In einer andauernden seismischen Phase mag durch Erdstöße zu wiederholten Malen das Wasser des Persischen Meerbusens in das Niederland des Euphrat geworfen worden sein. Durch diese Fluten gewarnt, baut ein vorsichtiger Mann, Hasis-Adra, d. h. der gottesfürchtige Weise, genannt, ein Schiff zur Rettung der Seinigen und kalfatert es mit Erdpech, wie man heute noch am Euphrat zu thun pflegt. Die Bewegungen der Erde nehmen zu; er flüchtet mit den Seinigen in das Schiff; das Grundwasser tritt aus dem geborstenen Flachlande hervor; eine große Depression des Luftdruckes, bezeichnet durch furchtbaren Sturm und Regen, wahrscheinlich ein wahrer Cyklon, vom Persischen Meerbusen hereintretend, begleitet die höchsten Äußerungen seismischer Gewalt; das Meer fegt verheerend über die Ebene, erhebt das rettende Fahrzeug, spült es weit landeinwärts und läßt es an jenen Vorhügeln stranden, welche unterhalb der Mündung der Kleinen Zab die Niederung des Tigris nach Norden und Nordosten umgrenzen.“

Ursachen der Erdbeben.

Über die Ursachen, welche die Erdbeben bedingen, ist seit den ältesten Zeiten bis auf unsre Tage eine große Menge verschiedener Hypothesen und Theorien aufgestellt worden. Eine naive Anschauung sieht in den Erschütterungen eine unmittelbare Einwirkung übernatürlicher Kräfte, oder sie greift nach fabelhaften Vorstellungen und nimmt an, daß eine Schildkröte oder ein Walfisch unter dem Boden durchkrieche, wodurch die Erschütterung erzeugt werde. Bessern Grund finden wir in den Anschauungen der alten Philosophenschulen, die ohne bedeutende empirische Unterlage teilweise haltbare Ideen aussprachen. Wenn die einen die Erdbeben auf den Einsturz von Hohlräumen zurückführen, die andern lediglich dem Wasser, dritte einem innern Erdfeuer die Entstehung zuschreiben, so finden wir hier schon die meisten neuern Anschauungen vorgebildet. Beim Wiederaufleben der Naturwissenschaften und speziell der Geologie nach dem langen Schlafe im Mittelalter traten auch die Erdbebenhypothesen in reichlichem Maße hervor. Es mag uns erspart bleiben, alle jene Vermutungen aufzuzählen, die heute als definitiv überwunden betrachtet werden dürfen, eine Bezeichnung, die wir auch auf die Perreysche Hypothese anwenden, welche in Ebbe- und Flutbewegung des flüssigen Erdkernes die wahre Ursache sah; wir beschränken uns auf jene Erklärungsversuche, welche noch heute von Bedeutung sind.

Unter diesen machen vor allem drei Auffassungen Anspruch auf Berücksichtigung; die eine stützt sich auf die auslaugende Thätigkeit des Wassers, welche Hohlräume und durch deren Einsturz Erschütterungen hervorruft, die andre sieht in vulkanischen Vorgängen an der Oberfläche oder in der Tiefe die Erzeuger der Erdbeben, während die dritte den Zusammenhang zwischen dem geologischen Baue der Gegenden in erster Linie betont und die Stöße und Schwankungen des Bodens wenigstens der Mehrzahl nach mit dem großen Prozesse der Oberflächengestaltung unsers Planeten in Verbindung bringt und sie als eine spezielle Äußerung der gebirgsbildenden Kraft betrachtet.

Nur wenige Geologen werden heute noch daran zweifeln, daß Erdbeben auf sehr verschiedene Weise entstehen können, und daß jede der angegebenen Ursachen wirksam ist. Meinungsverschiedenheiten bestehen, wenigstens der Hauptsache nach, nur bezüglich der Ausdehnung, in welcher jeder der drei Faktoren in Thätigkeit tritt. Es ist eine unzweifelhafte Thatsache, daß das Wasser, welches durch den Boden sickert, in demselben Bestandteile auflöst und fortführt. Am intensivsten ist das der Fall, wo Gipsstöcke der auslaugenden Wirkung ausgesetzt sind, nächstdem im Kalkgebirge, wo bekanntlich das Vorkommen von Höhlen und trichterförmigen Einsenkungen, „Dolinen", häufig ist. Hohlräume, die auf diesem Wege entstanden sind, werden im Laufe der Zeit einstürzen und, wie wir es oben (s. S. 290) an dem Zusammenbruche einer abgebauten Strecke in dem Kohlenwerke Königshütte gesehen haben, ein Erdbeben verursachen.

Man hat diese Art von Erschütterungen als Einsturzbeben bezeichnet, doch faßt dieser Ausdruck ihr Wesen nicht ganz richtig auf, denn auch viele von den Stößen, die man mit der Gebirgsbildung in Zusammenhang bringt, müssen auf Einsturz zurückgeführt werden; der Unterschied liegt nur in der Art und Weise, wie sich der Hohlraum gebildet hat. In unserm Falle ist er durch Auflösung des früher vorhandenen Materiales in Wasser entstanden, man würde diese Bewegungen also, wenn ein kurzer Name für sie gegeben werden soll, etwa als Auswaschungsbeben bezeichnen können. Die auf diese Weise entstehenden Erschütterungen können unter Umständen innerhalb engster Grenzen in hohem Grade heftig und zerstörend wirken; man kennt aus dem Karstgebiete Fälle, in welchen mehrere Häuser samt ihren Einwohnern dabei in die Tiefe stürzten und begraben wurden. Aber anderseits können sie der Natur der Sache nach nur ganz lokale Phänomene darbieten, die, durch

den Einsturz einer einzelnen Höhlung hervorgebracht, sich nicht weit über den Ort der Entstehung ausbreiten. Für große, weitverbreitete Erscheinungen können wir diese Entstehungsweise nicht annehmen.

Den vulkanischen Kräften wurden seiner Zeit nahezu alle Erdbeben zugeschrieben. Daß auch sie eine derartige Wirkung ausüben, kann niemand bezweifeln. Häufig genug kann man auf dem Kegel eines in starker Thätigkeit befindlichen Vulkanes beobachten, wie mit oder vor jedem der oft in sehr kurzen Zwischenräumen erfolgenden Auswürfe von Schlacken ein Erzittern des Kraterbodens erfolgt; und in dieselbe Kategorie gehören jene oft furchtbaren Stöße, welche vor dem Beginne großer Eruptionen den Feuerberg und seine Umgebung erschüttern. Es sind die Wirkungen von Gasexplosionen, welche die auf ihnen lastenden Massen noch nicht haben überwältigen können. Wie heftig diese Bewegungen aber auch sein mögen, sie haben doch, obgleich sie nicht von so engen räumlichen Grenzen umzogen sind wie die Auslaugungsbeben, keine sehr große Verbreitung. In der Praxis wird diese Art der Erschütterung, die wir Explosionsbeben nennen wollen, nicht scharf von solchen zu scheiden sein, welche von größerer Verbreitung sind und mit Vulkanausbrüchen in zeitlicher und räumlicher Verbindung stehen, ohne daß wir in den letztern die Ursache der erstern zu sehen berechtigt wären. Sehen wir z. B. in einem Gebiete Erdbeben und Vulkane gleichzeitig auftreten und eine unverkennbare Beziehung in der Thätigkeit beider, so könnte man geneigt sein, die Gesamtheit als eine Wirkung der Vulkane zu betrachten. Wenn wir jedoch die ganze geologische Anordnung der Region betrachten und dann andre Gegenden ins Auge fassen, so finden wir, daß anderwärts stellenweise unter gleichen geologischen Verhältnissen die Erdbeben in derselben Weise auftreten, ohne von eruptiven Erscheinungen begleitet zu sein, und wir müssen daraus schließen, daß beide nicht in direktem Kausalzusammenhange stehen, sondern auf eine gemeinsame dritte Ursache zurückzuführen sind.

Diese Ursache ist in jenen Vorgängen zu suchen, welche größere Veränderungen in der Massenlagerung der Erdkruste hervorbringen; sie hängen mit dem Gebirgsbaue, mit der Entstehung von Störungslinien zusammen, weshalb man sie tektonische Beben, Struktur- und Dislokationsbeben genannt hat. Diese Namen sind ganz bezeichnend, nur darf man nicht glauben, daß damit eine Abteilung geschaffen sei, welche den Auslaugungs- und den Explosionsbeben etwa gleichwertig ist. Die beiden letztern stellen zwei Spezialfälle lokal beschränkter Erschütterung dar, sie verschwinden aber gegen die außerordentliche Mehrzahl und Bedeutung der tektonischen Beben, welche an sich wieder eine große Mannigfaltigkeit verschiedener Erscheinungen umschließen, die zu sondern und zu untersuchen notwendig wird. Die Beziehungen, welche die Lage von häufig erschütterten Gebieten und Vulkanen zu dem Verlaufe der Gebirgsketten und zu den an ihren Rändern auftretenden Tiefebenen oder Meerbuchten hat, sind den Geologen schon seit langer Zeit aufgefallen; aber erst in neuerer Zeit hat man diesen Vorkommnissen die nötige Aufmerksamkeit zugewendet und sie in ihren Einzelheiten verfolgt. Es ist speziell ein Verdienst von Sueß, diese Richtung eingeschlagen und in ihrer konsequenten Verfolgung einen wesentlich umgestaltenden Einfluß auf die Betrachtung von Erdbeben, Vulkanen und Gebirgsbildung ausgeübt zu haben. Insbesondere sind die Kettengebirge und ihre Umgebung die Hauptheimat der Erdbeben; bald bewegen sich diese auf Querspalten, welche das Gebirge schneiden, bald zeigen sie sich da am heftigsten, wo Stücke aus Gebirgen herausgebrochen sind und sich kesselartige Ausbuchtungen finden, bald in jenen großen in Senkung befindlichen Gebieten, welche sich an den Steilabfall der Ketten anzulegen pflegen, wie z. B. die Po-Ebene in Italien. Diese enge Verknüpfung mit den Störungslinien, längs deren die Verschiebungen und Bewegungen der Gebirge und der Erdrinde überhaupt vor sich gehen, hat zu der Überzeugung geführt, daß die sogenannten tektonischen Beben nichts andres

sind als die an der Oberfläche fühlbaren Spuren einzelner verhältnismäßig leichter Vorgänge dieser Art. Es geht daraus hervor, daß eine richtige Auffassung dieser Vorgänge nur in Verbindung mit der Besprechung der Gebirgsbildung möglich ist; wir brechen daher hier ab, um später wieder auf den Gegenstand zurückzukommen.

Untersuchungsmethoden.

Wir haben die allgemeine Erscheinungsweise und die Ursachen der Erdbeben kennen gelernt, wir wenden uns nun der Betrachtung jener Untersuchungsmethoden zu, welche die Geologie beim Studium der Erscheinungen anwendet. Man hat dazu die verschiedensten Wege eingeschlagen, indem man bald Erdbebenkataloge anlegte, um mit Hilfe dieser auf statistischem Wege zu einem Resultate zu gelangen, bald aus den Zeitangaben über das Auftreten eines und desselben Bebens an verschiedenen Punkten die Lage des Herdes und seine Tiefe unter der Oberfläche zu ermitteln suchte, bald auch für die genaue Feststellung der Art der Bewegung die hinterlassenen Zerstörungsspuren für geeigneter hielt. Endlich hat man sich daran gemacht, die Verbreitung der einzelnen Erdbeben mit den großen Grundlinien des Gebirgsbaues in Verbindung zu bringen und dadurch nachzuweisen, daß beide in innigem ursächlichen Zusammenhange stehen.

Der statistische Weg ist wohl zuerst und am häufigsten betreten worden, wenn auch ein großer Teil der erzielten Resultate von sehr zweifelhaftem Werte ist. In der Hand desjenigen, welcher mit der richtigen und vorsichtigen Behandlung der Statistik nicht vollständig vertraut ist, bietet diese Methode an sich schon allzu vielen Anlaß zu Irrtümern, selbst bei vollständigem Zahlenmateriale; wenn wir aber bedenken, daß unsre Listen gewiß nicht den tausendsten Teil der Stöße verzeichnen, welche überhaupt vorkommen, so wird man um so mißtrauischer sein müssen. Es gilt das zunächst von jenen Verzeichnissen, welche aus allen Gegenden der ganzen Erde die Nachrichten von Erdbeben meistens nach Zeitungsmitteilungen zusammentragen, und in denen natürlich die Ereignisse der winzigen europäischen Area an Zahl weitaus überwiegen. Es ist klar, daß jeder Versuch vergeblich ist, auf solcher Basis Gesetze abzuleiten, welche für die ganze Erde Gültigkeit haben. So hat man z. B. herausgefunden, daß die Monate Oktober bis März im Durchschnitte mehr Erdbeben aufzuweisen haben als April bis Oktober. Da nun bekanntlich die Erde in den ersten sechs Monaten sich in der Sonnennähe, in den letzten in der Sonnenferne befindet, so war man sehr rasch bei der Hand, in diesem Umstande die Ursache zu finden. Dies ist jedoch unberechtigt. Auf der nördlichen Hemisphäre fallen in diese Monate Herbst und Winter und damit die größte Regenmenge in jenen Gegenden, welche durch die Zahl ihrer Erdbeben in den Katalogen die Angaben von der ganzen übrigen Erde erdrücken. Man müßte vor allem für jede einzelne Gegend den jährlichen Gang des Barometerstandes und der Regenmenge genau berücksichtigen, und erst dann könnte man vielleicht einen Schluß ziehen; unter den jetzigen Verhältnissen haben solche Behauptungen nicht die geringste Berechtigung.

Von viel größerm Werte als die ganze Erde umfassende Verzeichnisse sind jene Spezialkataloge, die von einzelnen Forschern für die nähere Umgebung ihres Wohnortes zusammengestellt worden sind. Unter ihnen ist namentlich jener Katalog hervorzuheben, welchen Julius Schmidt in Athen für Griechenland und die ganze Umgebung des Ägeischen Meeres zusammengestellt hat. Wenn es auch heute noch nicht möglich ist, ein endgültiges Urteil zu fällen, so treten aus derartigen Zusammenstellungen doch einige Verhältnisse schon mit ziemlicher Klarheit hervor. So scheint eine gewisse Beziehung zwischen den Phasen des Mondes und dem Eintreten von Erdbeben wenn auch noch nicht erwiesen, so doch nicht unwahrscheinlich zu sein, und speziell sollen die Zeiten des Vollmondes und des Neumondes sich

durch zahlreichere Erdbeben auszeichnen. Wenn man die Gesamtheit der bisherigen Aufzeichnungen und speziell jene von Fuchs, Perrey und Schmidt berücksichtigt, so ist es nicht wahrscheinlich, daß dieses Resultat nur in der Unvollständigkeit der Verzeichnisse begründet sei, zumal eine ähnliche Fehlerquelle wie bei der Verteilung nach Jahreszeiten nicht vorzuliegen scheint; jedenfalls gibt es aber doch einige so bedeutende Abweichungen von der Regel, daß diese noch nicht als erwiesen betrachtet werden darf. So ergeben zwar die sehr zuverlässigen Zusammenstellungen von Schmidt für die Zeit des Neumondes ein ganz entschiedenes Maximum, aber dem Vollmonde entspricht kein solches, während auf den neunten und zehnten Tag nach dem Neumonde gerade wieder eine starke Anhäufung der Erschütterung fällt, die zu jener Annahme in keiner Weise paßt.

Nehmen wir aber auch eine schwache Vermehrung der Erdbeben zur Zeit des Vollmondes und des Neumondes an, so darf man doch daraus nicht den Schluß ziehen, daß der Einfluß des Mondes die Ursache der Erschütterung sei. Perrey, der sich durch sein Verzeichnis der Erdbeben ein großes Verdienst erworben hat, ließ sich seiner Zeit zu der Hypothese hinreißen, daß das feuerflüssige Erdinnere unter der Einwirkung des Mondes ebenso wie das Meer seine Flutwellen habe, und daß die Erdbeben nichts andres seien als die Stöße, welche die feste Erdrinde durch diese Wellen im Innern erhält. Wie wir nun an der Seeküste zur Zeit von Vollmond und Neumond unter der vereinigten Wirkung der Anziehung von Mond und Sonne die sogenannten Springfluten beobachten, so sollte auch zu derselben Zeit die Bewegung des feurigen Kernes durch die nämliche Ursache verstärkt werden und eine Vermehrung der Erschütterungen bewirken. Diese Ansicht ist in neuerer Zeit wieder aufgenommen und in ziemlich dilettantenmäßiger Weise weiter ausgebildet worden; da der Vertreter dieser Ansichten denselben ein sensationelles Gepräge zu geben wußte, künftige Erschütterungen vorauszusagen versuchte und mit Eifer und Ausdauer für deren Ausbreitung wirkte, so haben seine Ansichten trotz ihrer Haltlosigkeit doch viel Aufsehen gemacht und im Publikum nicht wenige Anhänger gefunden.

Wenn sich die Ansicht bestätigt, daß mit Voll- und Neumond häufigere Erdbeben verbunden sind, so läßt sich diese Erscheinung sehr einfach erklären; auch die feste Masse der Erde ist für die Anziehung von Sonne und Mond nicht ganz unempfindlich, und wenn nun in den Massen der Erdrinde das Gleichgewicht gestört ist, wenn ein Erdbeben zum Ausbruche reif ist, so wird dieses mitunter durch den kleinen Anstoß erfolgen, den die Konstellation von Sonne und Mond ausübt.

Eine andre Bemerkung ist die, daß Erschütterungen bei Nacht häufiger sind als bei Tage; es mag diese Erscheinung wohl daher kommen, daß die leichtesten Vibrationen namentlich in Städten im Lärme und Getriebe des Tages oft unbeachtet bleiben, während die ruhige Lage im Bette gerade für die Wahrnehmung sehr günstig ist. Allerdings sollte man eine Ausgleichung dadurch erwarten, daß in der Nacht ein unbedeutendes Erdbeben leicht verschlafen wird.

Verhältnismäßig am besten begründet scheint die Ansicht, daß Erschütterungen häufig bei niederm Barometerstande, nicht selten gleichzeitig mit Gewittern eintreten. Natürlich kann auch in diesen Erscheinungen nicht die Ursache für deren Entstehung, sondern nur ein leichter, den Ausbruch fördernder Anstoß gesehen werden. Daß solche Beziehungen wirklich existieren, wird durch eingehende Zusammenstellung bezeugt. Einige sehr auffallende Beispiele führt Darwin aus Südamerika an; in manchen Gegenden dieses Erdteiles werden sogar die Erdbeben geradezu als Regenboten betrachtet, und da dort selbst starke Stöße keinen großen Schaden anrichten, sondern nur die leichten Rohrhütten der Eingebornen umwerfen, während das Ausbleiben des Regens Hungersnot bedeutet, so gelten die Erschütterungen als ein frohes, reiche Ernte versprechendes Ereignis.

Sehr weit ist die Meinung verbreitet, daß vollständige Windstille, sehr dunstige, bleigraue Atmosphäre, drückendste Schwüle und sehr tiefer Barometerstand bestimmt das Eintreten eines Erdbebens verkünden[1]. Diese Ansicht hat sich nicht bestätigt; überhaupt gibt es kein sicheres Vorzeichen, welches untrüglich wäre. Unruhe der Tiere, leichtes Zittern des Bodens, unterirdisches Geräusch gehen den schweren Stößen oft voran, aber ebenso häufig hören die leisen Vibrationen wieder auf, das Rollen in der Tiefe geht vorüber, ohne daß eine heftigere Erscheinung eintritt, und umgekehrt haben viele der fürchterlichsten Katastrophen die Menschen gänzlich unvorbereitet überrascht; so war es in Lissabon 1755, in Kalabrien 1783 und neuerdings bei Casamicciola auf Ischia sowie in vielen andern Fällen. Die Wissenschaft hat kein sicheres Vorzeichen gefunden, und ebensowenig ist das der durch die Not geschärften Aufmerksamkeit der Bewohner viel von Erdbeben heimgesuchter Gegenden gelungen. Höchstens ließe sich anführen, daß man in Japan an eine plötzliche Verminderung oder ein momentanes Aufhören der magnetischen Kraft vor heftigen Stößen glaubt, so daß z. B. ein aufgehängter Hufeisenmagnet herabfällt; es sollen daher solche vielfach in den Häusern angebracht sein, um als Warnungssignale zu dienen. In der That scheinen neuere Beobachtungen an den italienischen Stationen diese Meinung bis zu einem gewissen Grade zu bestätigen.

Eifrig hat man sich bemüht, namentlich bei weitverbreiteten Erdbeben, den Ausgangsort derselben, ihren Herd, genau festzustellen, und hat hierzu verschiedene Methoden angewandt, die sich zwar noch in den ersten Anfangsstadien ihrer Entwickelung befinden und darum bisher noch zu keinem sichern und übereinstimmenden Ergebnisse geführt haben, aber ohne Zweifel mit der Zeit eine weitere Vervollkommnung erfahren und dann wichtige Resultate liefern werden. Die Grundlage dieser Untersuchungen bildet die Annahme, daß die früher erwähnten sukkussorischen Stöße von einem Punkte oder einer Linie ausgehen, die sich in einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche befindet. Durch unmittelbare Beobachtung können wir demnach nie das eigentliche Zentrum bestimmen, sondern nur die Stelle der Erdoberfläche, unter welcher dasselbe liegt, und welche daher vom Stoße senkrecht von unten getroffen wird. Man nennt diese Stelle den Oberflächenmittelpunkt oder das Epizentrum des Bebens, und die erste Aufgabe ist daher stets, dieses zu ermitteln, die zweite, zu bestimmen, in welcher Tiefe unter demselben der eigentliche Herd liegt.

Die Bestimmung des Epizentrums geschieht einfach, wenn auch nur annäherungsweise, durch Feststellung derjenigen Region, in welcher die größten Verwüstungen angerichtet worden sind, und durch Angabe der Zeugen über die Richtung des Stoßes. Die erstere Art der Feststellung findet am bequemsten durch graphische Einzeichnung in eine Karte statt, welche überhaupt die Basis für alle weitern Schlüsse geben muß. Bei einer Erschütterung der heftigsten Art bezeichnet man z. B. mit einer Farbe auf der Karte die ganz zerstörten Ortschaften, mit einer zweiten diejenigen, in welchen nur einzelne Gebäude eingestürzt sind, mit einer dritten diejenigen, von wo nur Schornsteineinstürze, Mauerrisse ꝛc. gemeldet werden; weitere Abteilungen mögen dann die ohne Beschädigung erschütterten Punkte bezeichnen und die letzte endlich diejenigen, in welchen die Erde ruhig geblieben ist. Trotz mancher Abweichungen wird man auf diese Weise, deren Einzelheiten je nach der Natur des Stoßes etwas abgeändert werden müssen, zu dem Resultate kommen, daß die schwersten Schäden mehr in der Mitte, die leichtern gegen die Ränder des Schüttergebietes liegen, und wird in dieser Weise die ungefähre Lage des Epizentrums finden.

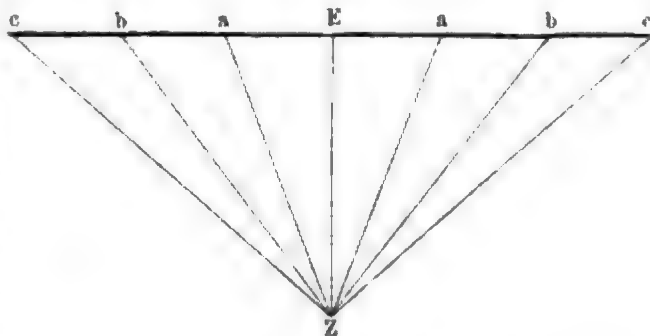
Ein andres Verfahren, welches der ausgezeichnete Erdbebenforscher Mallet in seinem bahnbrechenden Werke über das kalabrische Erdbeben von 1857 einschlug, sucht nicht nur

---

[1] Vielfach existieren noch Barometer, auf welchen außer den landläufigen Rubriken: Schönwetter, Regen, Sturm ꝛc. noch eine tiefste Abteilung der Skala mit „Erdbeben" bezeichnet ist.

eine präzisere Bestimmung des Oberflächenmittelpunktes, sondern auch die Tiefe des wirklichen Zentrums unter diesem nachzuweisen. In der untenstehenden Skizze soll der Punkt Z das in der Tiefe gelegene Zentrum, den Ausgangspunkt des Stoßes, und die Horizontallinie cc die Erdoberfläche darstellen; unter der Voraussetzung, daß die Erde eine ganz gleichmäßige Masse ist, wird sich der Stoß durch dieselbe nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke und Geschwindigkeit fortpflanzen, dabei aber mit der Entfernung vom Ausgangspunkte auf dem Wege an Stärke verlieren. Die kürzeste Strecke, um die Oberfläche zu erreichen, hat der Stoß senkrecht nach oben nach dem Epizentrum (E) zurückzulegen, er wird also hier zuerst und mit größter Kraft erfolgen; je weiter aber ein Punkt (a, b, c) der Oberfläche vom Epizentrum entfernt ist, um so später und um so schwächer wird er den Stoß erhalten, und unter einem um so spitzern Winkel, dem sogenannten **Emissionswinkel**, wird der Stoß hier den Boden treffen.

Die bis jetzt unternommenen Bestimmungsversuche gehen von dieser Grundlage aus und suchen nach den Erscheinungen an der Oberfläche die Lage des Zentrums zu bestimmen. Die Art und Weise, in welcher das geschieht, ist eine verschiedene, alle Versuche aber leiden von vornherein an einem großen, wenn auch vorläufig und wohl noch auf lange Zeit hinaus nicht zu vermeidenden Fehler, indem die **Masse der Erde keine gleichartige** ist und daher auch die **Ausbreitung des Stoßes eine unregelmäßige** sein muß. Die Streichungsrichtung der Schichten, das Vorhandensein von Spalten, Beschaffenheit und Wechsel der Gesteine und eine Reihe andrer Faktoren üben einen bedeutenden Einfluß aus, dessen Existenz unzweifelhaft ist, dessen Größe wir aber nicht kennen und nicht in Rechnung ziehen können.



Schematische Darstellung der Ausbreitung eines Erdbebens. cc Erdoberfläche — E Epizentrum (Oberflächenmittelpunkt — Z Zentrum des Erdbebens.

Mallet benutzte für seine Folgerungen nur die mechanische Wirkung des Stoßes; er suchte durch die Richtung der Sprünge in Gebäuden und des Falles umgestürzter Gegenstände sowie aus der Entfernung, in der sie von ihrem ursprünglichen Standorte niederfielen, Direktion und Emissionswinkel des Stoßes für eine Menge von Punkten zu bestimmen und daraus die Lage des Zentrums zu berechnen. Die Konstatierung des Fallwinkels bei einem frei stehenden Körper erheischt vor allem einige Vorsicht, um volle Sicherheit zu gewähren, ob derselbe nach dem Falle ruhig liegen geblieben oder fortgerollt oder fortgerutscht ist. Immerhin wird dies in der Regel einem guten Beobachter keine bedeutenden Schwierigkeiten bereiten, vor allem aber muß man bedenken, daß man auf diesem Wege nie die Richtung des Stoßes selbst erfährt, da der Fall ebenso gut in dieser wie in der entgegengesetzten Direktion stattfinden kann. Man kann also z. B. einen Nordstoß von einem Südstoße nicht unterscheiden; man erhält die Ebene, welche senkrecht zur Erdoberfläche durch die Stoßrichtung gelegt werden kann, nicht diese letztere selbst. **Mallet** hat weitere Schlüsse auf die Richtung des Stoßes, vielmehr auf den Emissionswinkel desselben, an jene Vorkommnisse zu knüpfen gesucht, bei welchen ein Körper nicht nur umgeworfen, sondern von seiner Stelle geschleudert worden ist.

Ziemlich verwickelter Natur sind die **Erscheinungen, welche bei Beschädigung von Gebäuden auftreten**. Ein senkrecht von unten nach oben wirkender Stoß wird bei nicht allzu großer Stärke in erster Linie das Dach in die Höhe werfen, das sich dann wieder an die

alte Stelle setzt, ein Fall, der nicht eben selten beobachtet wird und nachträglich an den dicht unter dem Dache rings um das Gebäude verlaufenden Sprüngen zu erkennen ist. Anders verhält es sich, wenn ein Stoß schräg von unten kommt. Trifft ein solcher z. B. ein Haus direkt an seiner Langseite, so wird die zunächst stehende Wand von senkrechten Sprüngen zerteilt, die gegenüberliegende Wand dagegen ganz nach außen gestoßen oder nur z. B. der Giebel nach außen geworfen. Trifft dagegen ein solcher Stoß die Wände schief, wird z. B. ein Haus, dessen vier Wände nach den vier Haupthimmelsrichtungen orientiert sind, von einem Nordweststoße heimgesucht, so wird die entgegengesetzte, südöstliche Ecke des Hauses abgeworfen (s. nebenstehende Abbildung). Kirchtürme fallen in der Regel als eine Masse um, indem sie an irgend einer Stelle quer durchbrechen; nur bei sehr steilen Stößen kommt es vor, daß die eine Ecke als ein spitzer Pfeiler stehen bleibt (s. Abbildung, S. 303).



Die Kathedrale von Paterno in Kalabrien nach dem großen Erdbeben von 1857 (nach Mallet). Die Ecke ist durch einen die Richtung der Wände schief treffenden Stoß herausgeworfen.

Dies sind einige der allgemeinsten Regeln. Indem man die Stellung der Sprünge und ihre Richtung sehr genau verfolgt, erhält man jene Daten, aus denen man nach Mallet den Emissionswinkel ableiten kann. Allein nur in den allereinfachsten und normalsten Fällen treten diese Erscheinungen klar zu Tage; alle Unregelmäßigkeiten des Hauses verursachen unregelmäßige Sprung- und Einsturzrichtungen. Die Lage von Fenstern und Thüren, von Böden und Querwänden, die Verteilung und Anordnung des Baumateriales bedingen zahlreiche Abweichungen, welche die richtige Beurteilung im höchsten Grade erschweren. Mallet hat auf diese Weise das Zentrum des kalabrischen Erdbebens von 1857 zu bestimmen gesucht. Auf langer, mühsamer Reise durch die erschütterten Gegenden sammelte er die Daten unter Verhältnissen, die einen großen Aufwand von Energie, Umsicht und Ausdauer erforderten; er konnte an

78 Punkten 177 Bestimmungen der Stoßrichtung vornehmen und unterwarf diese Werte der Rechnung, um die Lage des Herdes aufzufinden. Rein theoretisch sollten sich alle Richtungen in einem Punkte treffen, und er fand in der That, daß 16 von diesen Linien sich innerhalb eines Kreises von 456 m (500 Yards) Radius treffen, während 32 weitere innerhalb eines Kreises von 1851 m Radius ($2^{1}/_{2}$ Seemeilen) zu liegen kommen. Von den übrigen Bestimmungen lassen sich noch 12 damit in Übereinstimmung bringen, während für einen Teil der andern spezielle Gründe der Abweichung angegeben werden. Aus den Emissionswinkeln wurde die Tiefe des Zentrums bestimmt und nach den verschiedenen Beobachtungen dieselbe zu 15,000 m als Maximum, zu 5100 m als Minimum angenommen.



Die Reste des Turmes von Santa Dominica zu Montemurro in Kalabrien nach dem Erdbeben von 1857 (nach Mallet). Vgl. Text, S. 302.

Diese Methode ist allerdings sehr bestechend, aber trotzdem müssen gegen dieselbe und gegen die Überschätzung ihrer Bedeutung einige schwer wiegende Bedenken angeführt werden. Abgesehen von dem praktischen Übelstande, daß sie nur bei sehr starken Erdbeben angewendet werden kann, stützt sie sich auf eine Reihe von Voraussetzungen, welche nur in den seltensten Fällen eintreffen werden. In erster Linie ist die Art und Weise des Verfahrens darauf gegründet, daß die ganze Zerstörung der Gebäude durch sukkussorische Stöße stattgefunden habe; da aber Beschädigungen durch einfache Wellenbewegungen geschehen können und diese hier nach den Gesetzen eines geradlinigen Stoßes (in mathematischem Sinne) behandelt werden, so liegt darin eine entschiedene Fehlerquelle. Ebenso kommt es vor, daß in einer Erdbebenperiode das Epizentrum wechselt, es werden also auch verschiedene Stoßrichtungen an den einzelnen Punkten vorkommen können, die man zu verwechseln Gefahr läuft. Vor allem aber dürfte ein Bedenken schwer in die Wagschale fallen: Wenn ein Geolog eine vom Erdbeben stark zerrüttete Stadt betritt, so umgeben ihn Hunderte von beschädigten Gebäuden, und da er sie nicht alle untersuchen kann, so hat er nun die geeignetsten zu wählen, welche er speziell studieren und auf die er seine Folgerungen gründen will. Er muß als solche diejenigen Häuser rc. aufsuchen, welche die Wirkung des Erdbebens am reinsten

darstellen, und als solche wird er ganz unwillkürlich unter sonst gleichen Umständen diejenigen betrachten, welche mit einer vorläufig gefaßten Ansicht über die Lage des Mittelpunktes am besten harmonieren. In der Notwendigkeit also, eine Auswahl weniger Fälle aus der großen Menge zu treffen, und in der Schwierigkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit, hierbei ganz unbefangen vorzugehen, liegt wohl die größte Schwäche der Malletschen Methode, und sie tritt vielleicht am auffallendsten hervor in der unnatürlich großen Genauigkeit der Bestimmung des Mittelpunktes bei Mallet, welche mehr leistet, als mit unsern rohen Hilfsmitteln überhaupt geleistet werden kann. Endlich muß noch hervorgehoben werden, daß in der ganzen Auffassung schon darin ein Irrtum zu liegen scheint, daß nur ein räumlich sehr beschränktes Gebiet als Ausgangspunkt betrachtet wurde und die sehr nahe liegende Möglichkeit, daß eine große Scholle Landes sich in Bewegung befunden habe, nicht berücksichtigt ist. Alle diese Erwägungen führen zu der Ansicht, daß das Werk von Mallet einen sehr wertvollen Versuch darstellt, daß es ein bahnbrechendes genannt werden darf, daß aber der im einzelnen eingeschlagene Weg ein unrichtiger, das Resultat ein unbefriedigendes ist.

Die Malletsche Methode ist seither nicht wieder angewendet worden; auf ganz anderm Wege ist C. von Seebach vorgegangen, indem er seine Folgerungen lediglich auf die Zeitbestimmungen gründete. Auch hier haben wir es mit einer vielfach auf unrichtige Annahmen basierten Methode zu thun, deren Ergebnisse noch unzulänglich sind; aber es scheint ein Weg eingeschlagen, der durch weitere Vervollkommnung der Theorie und vor allem nach Einführung eines ausreichenden Netzes von Beobachtungsstationen für Erdbeben aller Wahrscheinlichkeit nach zu wertvollen Resultaten führen wird.

Wir können an dieser Stelle den mathematischen Teil der Seebachschen Methode natürlich nicht verfolgen. Den Grundgedanken seiner Untersuchung des mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 bildet die Überlegung, daß der Stoß vom Zentrum aus den kürzesten Weg zur Oberfläche in senkrechter Richtung zum Epizentrum zurückzulegen hat, und daß derselbe um so länger wird, je schräger der Stoß die Oberfläche trifft. Da nun die Zeitdauer, die der Stoß braucht, dem Wege entspricht, so kann auf die Zeitangaben über den Eintritt der Erschütterung an zahlreichen verschiedenen Punkten eine Berechnung der Lage des Herdes basiert werden. Nach Seebach wurde dieselbe Methode von Lasaulx auf die beiden Erdbeben von Herzogenrath in 1873 und 1877, dann von Lasaulx und Schuhmacher auf das westdeutsche Erdbeben vom 26. August 1868 angewendet, während Julius Schmidt das rheinische Erdbeben von 1846 und das Erdbeben von Sillein in Ungarn danach bearbeitete. Man muß sich natürlich stets den hohen Grad von Unvollkommenheit vergegenwärtigen, der diesem Verfahren anhängt; aber immer ist es von Interesse, die Werte kennen zu lernen, welche hier erzielt wurden, und sie mit jenen Mallets für Kalabrien zu vergleichen, wie es die folgende Tabelle gestattet:

Erdbeben	Mittlere Tiefe in Metern	Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Minute Geogr. Meilen	Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Sekunde Meter
1) Rheinisches Erdbeben 1846	38806	4,6	568
2) Kalabrisches Erdbeben 1857	9275	2,1	260
3) Erdbeben von Sillein 1858	26266	1,7	206
4) Mitteldeutsches Erdbeben 1872.	17956	6,0	742
5) Erstes Erdbeben von Herzogenrath 1873 . .	11130	2,7	360
6) Zweites Erdbeben von Herzogenrath 1877 .	27113	3,8	475
7) Westdeutsches Erdbeben 1878	8880	2,4	302

Was man dieser Methode vorwerfen kann, ist in erster Linie, daß die Geschwindigkeit des Stoßes je nach dem Gesteinsmateriale und nach der Richtung, in welcher er die Schichten

durchsetzt, eine verschiedene ist, daß das Vorhandensein von Klüften hindernd oder abschwächend in den Weg tritt, so daß also die Voraussetzung, daß der Stoß sich allseitig gleichartig verbreite, unrichtig ist, wie das auch von Seebach und seinen Nachfolgern vollständig anerkannt wird. Das zweite Hindernis ist der große Mangel an zuverlässigen Zeitbestimmungen; man darf sogar annehmen, daß unter den Angaben, welche einlaufen, mehr als die Hälfte falsch ist. Man muß nun die guten und zuverlässigen Daten von den unsichern und falschen scheiden und kommt auch hier, wie bei der Beurteilung der Stoßrichtungen, in die mißliche Lage, als ein wesentliches Kriterium für die Richtigkeit die Übereinstimmung mit der Theorie benutzen zu müssen. Da nun der Ausgangspunkt der ganzen Schlußfolgerung der ist, daß die Erschütterung von einem Punkte oder einer Linie ihren Ursprung nahm, während gewiß in sehr vielen Fällen weit ausgedehnte Schollen gleichzeitig in Bewegung geraten, so ist dadurch die ganze Art der Behandlung eine unsichere.

Es liegt in diesen Auseinandersetzungen nicht der leiseste Vorwurf gegen diejenigen, welche diese Arbeiten gemacht haben; ein Geolog, der heute ausführliche Angaben über ein neues Erdbeben erhält, wird sie in erster Linie auch wieder nach der Seebachschen Methode prüfen. Die Arbeiten des letztern so gut wie die Mallets enthalten einen großen Fortschritt, sie haben uns auf einen Standpunkt gebracht, von dem aus der Forschung neue Wege offen stehen. Die weitere Ausbildung ihrer Theorien und die Sammlung besserer Daten durch Aufstellung zahlreicher Erdbebeninstrumente an verschiedenen Orten und durch Begründung von seismographischen Gesellschaften wird gewiß nicht lange auf sich warten lassen. Hier war es jedoch nötig, vor einer Überschätzung des Wertes der Zahlen zu warnen.

Es mag gut sein, die Resultate Wähners hervorzuheben, welcher gefunden hat, daß das Agramer Erdbeben über den ganzen Raum seiner Verbreitung fast gleichzeitig aufgetreten ist. Gerade die zuverlässigsten Aufzeichnungen ergeben z. B. folgende Zeiten: Eintritt des Erdbebens in

Agram . .	7 Uhr	27 Minuten	38 Sekunden	Komorn .	7 Uhr	26 Minuten	12 Sekunden
Fiume . .	7 "	27 "	27 "	Laibach .	7 "	26 "	38 "
Fünfkirchen	7 "	27 "	44 "	Triest . .	7 "	27 "	11 "
Graz . .	7 "	29 "	56 "	Wien . .	7 "	28 "	27 "

Die stärkste Verspätung zeigt Budweis, wo das Erdbeben um 7 Uhr 30 Minuten 46 Sekunden eintrat, also 3 Minuten 8 Sekunden später als in Agram. Zu demselben Resultate, daß die Erschütterung sich über große Gebiete gleichzeitig fühlbar gemacht habe, sind Heim für das Schweizer Erdbeben vom 4. Juli 1880, Whitney für dasjenige von Owen's Valley in Kalifornien vom 26. März 1872 und Wynne für die Erschütterungen gelangt, welche am 2. März 1878 das obere Pendschab heimsuchten.

Wohl auf keinem andern Gebiete ist der Forscher so sehr auf die Hilfe des Nichtgeologen angewiesen, und nirgends ist die Beobachtung jedes Einzelnen von so hohem Wert wie bei den Erdbeben. Es ist ein Zufall, der nicht allzu oft eintrifft, daß ein Geolog gerade an der Stätte eines größern Erdbebens weilt, und selbst wenn er sich an Ort und Stelle befindet, trifft ihn dasselbe ganz unvorbereitet oder in einer Lage, die eine sofortige Beobachtung nicht zuläßt. So muß ich leider gestehen, daß ich zur Zeit des Agramer Erdbebens vom 9. November 1880 in Wien in meinem Zimmer die Hängelampe in Schwingung geraten sah, aber bei der Geringfügigkeit der Bewegung dieselbe irgend einer zufälligen Erschütterung zuschrieb und daher weder nach der Uhr sah, noch die Richtung bemerkte, in welcher die Schwingung stattfand. Jedoch selbst wenn alle Bedingungen günstig sind, kann man nicht mehr thun, als die Zeit so genau wie möglich zu bestimmen und die Erscheinungen in der unmittelbaren Umgebung zu beobachten. Aber dadurch ist nur eine zuverlässige Notiz gegeben, während man deren zur richtigen Beurteilung eine sehr große

Menge braucht. Nur durch das Zusammenwirken aller kann ein befriedigendes Resultat geliefert werden, und darum sollte niemand, der irgend eine nennenswerte Bemerkung in dieser Beziehung macht, es unterlassen, dieselbe sofort einem Geologen mitzuteilen, natürlich am besten demjenigen, welcher der Stelle der Erschütterung am nächsten wohnt. Jede solche Mitteilung wird mit Dank angenommen werden, und wenn auch der Empfänger derselben sie nicht selbst verwertet, so wird er doch dafür sorgen, daß sie in die richtigen Hände kommt. In manchen Gegenden, in der Schweiz, in Steiermark, Hessen, Italien und Japan, ist die Beobachtung der Erdbeben vollständig organisiert. In den verschiedenen Orten dieser Länder haben sich Leute verpflichtet, in vorkommenden Fällen Berichte zu sammeln und an eine Zentralstelle zu senden, und es wurde schon oben erwähnt, mit wie günstigem Erfolge das geschehen ist. Wir werden nicht eher zu einer befriedigenden Kenntnis der Erdbeben kommen, als bis eine derartige Organisation die ganze Erde umspannt, soweit zivilisierte Menschen wohnen.

Von kaum geringerer Bedeutung als die Kenntnis der Erscheinungen während der Erschütterung ist die nachträgliche Untersuchung der Wirkungen, welche diese zurückgelassen hat. Hier kann natürlich nur der Geolog selbst die Hauptarbeit verrichten, da allein sein Auge, vertraut mit der Methode und mit den Umständen, welche von Wichtigkeit sind, alle die Einzelheiten gewahrt, welche die Beurteilung beeinflussen. Nach den meisten größern Erdbeben, die sich in letzterer Zeit in leicht erreichbaren Gegenden zugetragen haben, sind sofort mehrere Geologen an Ort und Stelle erschienen, um die eingestürzten Gebäude, Sprünge in Mauern, Spalten des Bodens ꝛc. zu studieren und von den Leuten an Ort und Stelle Nachrichten einzuziehen. Trotzdem ist es nicht möglich, alles zu sehen, was sich zugetragen hat, und infolgedessen sind Mitteilungen aus dem Publikum über solche dauernde Veränderungen ebenfalls von hoher Bedeutung und sehr wünschenswert. Um eine Vorstellung von der Menge der Beobachtungen zu geben, die für die richtige Beurteilung eines Erdbebens nötig sind, mag berichtet werden, nach welchen Materialien ein vor kurzem erschienenes Werk von Wähner über das Agramer Erdbeben verfaßt ist. Der Autor selbst hat fünf Wochen an Ort und Stelle, ausschließlich mit diesem Gegenstande beschäftigt, zugebracht; mehrere andre Geologen aus Wien, Pest und Agram waren in ähnlicher Weise beschäftigt, und ihre Beobachtungen konnten mit benutzt werden. Durch Vermittelung einiger Eisenbahndirektionen lagen die Berichte von weit über hundert Eisenbahnstationen vor, die Seebehörde hatte solche von sämtlichen Hafenkapitänen und Leuchtturmwächtern der weiten Strecke von Cattaro bis zur italienischen Grenze mitgeteilt; außerdem gingen sehr zahlreiche Privatmitteilungen und Zeitungsberichte ein, so daß Beobachtungsmaterial über etwa 750 verschiedene Ortschaften vorlag. Zwar waren noch manche Lücken vorhanden, aber im ganzen war auf dieser Grundlage ein richtiger Einblick in das Wesen jenes Erdbebens möglich durch die vereinigte Thätigkeit von mehr als 1000 verschiedenen Beobachtern, deren Resultate sich in einer Hand vereinigten.

Es würde als ein großer Gewinn zu betrachten sein, wenn diese Zeilen die Überzeugung fördern und verbreiten würden, daß es Pflicht eines jeden intelligenten Menschen ist, das Seinige zur Förderung der geologischen Wissenschaft beizutragen, indem er jede Beobachtung, die ihm möglich ist, mitteilt. Dabei muß noch vor einem Vorurteile gewarnt werden: in Europa, nördlich von den Alpen, sind Erdbeben zum Glücke selten, und die meisten sind so außerordentlich schwach, daß sie in Ecuador oder San Salvador gar nicht beachtet würden. Man hört nun oft die Ansicht äußern, daß es gar nicht der Mühe wert sei, diese unbedeutenden Erscheinungen zu studieren; von Nutzen und wahrer Bedeutung könne ja doch nur die Untersuchung der Erscheinung in ihrer mächtigsten Entwickelung sein. Diese Meinung ist aber total falsch; einzelne Punkte treten allerdings bei den furchtbarsten Katastrophen mit

erschreckender Klarheit hervor, aber in den meisten Beziehungen sind leichte Erdbeben zum Studium weit geeigneter. Bei einem Stoße, der eine Stadt in wenigen Augenblicken in einen Schutthaufen verwandelt und Hunderte oder Tausende von Einwohnern tötet, bleibt wenig Zeit und Ruhe zu genauer Beobachtung; sinnlose Panik oder stumpfe Verzweiflung sind die herrschenden Gefühle, aber selbst der Besonnenste und Kaltblütigste wird weit eher daran denken, sich und andre zu retten. Nur Ausnahmsmenschen werden in einem solchen Momente die Ruhe besitzen, die Sekundenuhr herauszuziehen und Anfang und Dauer der Erschütterung zu notieren. So erhält man gerade bei den heftigsten Erdbeben in der Regel nur ganz vage Berichte, die über manche der wichtigsten Dinge nicht die nötige Klarheit bieten, das menschliche Interesse spannen und befriedigen, aber die Wissenschaft nicht wesentlich fördern. Ferner ist bei den stärksten Stößen alles in so greulicher Weise verwüstet und durcheinander geworfen, daß man auch nachträglich nicht mehr jene Beobachtungen über die Lage eingestürzter Mauern, die Richtung von Sprüngen 2c. machen kann, die bei mittlern Erdbeben, wie dem von Agram, von so großer Bedeutung sind.

Die Punkte, auf welche bei diesen Beobachtungen besonderer Wert gelegt werden muß, sind folgende:

1) Zeit des Eintrittes und Dauer der Erschütterung, wenn möglich auf Bruchteile von Minuten genau; die Uhr, nach welcher die Beobachtung gemacht wurde, muß möglichst bald mit einer Normaluhr, etwa mit derjenigen der nächsten Bahn- oder Telegraphenstation, verglichen werden.

2) Zahl und Art der Erschütterungen; waren diese wellenförmig oder sukkussorisch?

3) Richtung des Stoßes, nach dem eignen Gefühle und nach der Schwingungsrichtung in Bewegung geratener Gegenstände, z. B. von Hängelampen.

4) Stärke der Erschütterung; welche Wirkungen brachte dieselbe hervor?

5) War ein Geräusch zu hören?

6) Sind Beschädigungen an Gebäuden vorgekommen, und welcher Art waren sie? Sonstige Wahrnehmungen, eigne wie fremde, sind beizufügen.

Um die Beobachtungen zu verschärfen, hat man, wie erwähnt, Erdbebeninstrumente, sogenannte Seismometer, konstruiert, welche je nach ihrer Einrichtung entweder nur das Eintreten eines Stoßes und seine Direktion oder auch noch Zeit und Stärke desselben angeben. In einfachster und rohester Form besteht das Seismometer aus einer flachen Schüssel, in welcher sich mit Kleie bestreutes Wasser befindet. Eine leise Erschütterung genügt, um das Wasser ins Schwanken zu bringen, die Kleie bleibt dann an den Wänden der Schüssel kleben und bezeichnet durch ihre Lage die Richtung des Stoßes. Ein an einem Faden aufgehängtes Bleilot mit einer nach unten gerichteten Spitze, welche eine lose Sandfläche gerade noch berührt, thut dieselben Dienste; eine Erschütterung bringt das Lot zum Schwingen und läßt es eine Furche in dem Sande ziehen. Schon bedeutend besser ist ein Apparat, der aus einem Becken mit acht genau in gleicher Höhe in den Seitenwänden gleichmäßig verteilten Löchern besteht. Das Becken wird bis zum Unterrande der Löcher mit Quecksilber gefüllt, und jede Erschütterung wird durch die ihrer Richtung entsprechenden Öffnungen eine je nach ihrer Stärke größere oder kleinere Menge Quecksilber ausschütten, das in kleinen Schüsselchen aufgefangen wird. Um die Zeit zu ermitteln, wenn ein Stoß eintritt, haben v. Seebach und v. Lasaulx Apparate vorgeschlagen, bei welchen durch die Erschütterung entweder eine stehende Uhr in Gang gebracht, oder eine gehende gehemmt wird.

Sehr kompliziert konstruierte und auch sehr genau arbeitende Apparate hat man in neuerer Zeit namentlich in Italien konstruiert und zur Beobachtung verwendet, und es ist zu hoffen, daß dieses Beispiel bald auch in andern einigermaßen erdbebenreichen Ländern nachgeahmt werde. Interessant scheint der Wagnersche Erdbebenmesser zu sein, wie er

jetzt in Japan in Verwendung ist. Derselbe schreibt nicht nur die Zeit und die Richtung des Stoßes selbstthätig mit einem Stifte auf Papier nieder, sondern gibt auch in etwas vergrößertem Maßstabe die Größe der Bewegung an, welche die Erdoberfläche erleidet. Die untenstehende Zeichnung gibt im Faksimile das Autograph eines leichten Erdbebens, welches in Tokio am 25. Juli 1880 stattgefunden hat, des ersten, welches überhaupt auf diesem Wege beobachtet wurde. Wir sehen um 2 Uhr $3^1/_{10}$ Minuten die Erschütterung mit einigen leisen Zuckungen beginnen und einen etwas stärkern Stoß folgen, bei welchem die Horizontalbewegung der Erdoberfläche $^1/_2$ mm betrug. Nach wenigen leichten Schwingungen folgte wieder ein merklicher Stoß mit 1 mm Erdbewegung, der $^1/_2$ Minute nach Beginn der



Autograph des Erdbebens in Tokio vom 25. Juli 1880, durch den Wagnerschen Erdbebenmesser aufgezeichnet.

Erschütterung eintrat; dann 48 Sekunden hindurch nur leichte Schwingungen, auf welche der stärkste Stoß mit $1{,}_{67}$ mm Bodenbewegung erfolgte. Ihm schlossen sich wieder leichte Vibrationen an, mit deren Einschlusse das ganze Beben gerade 2 Minuten dauerte, wie es obenstehend von des Erdbebens eigner Hand geschrieben zu sehen ist.

---

5. Gebirgsbildung.

Inhalt: Gebirgsformen. — Arten der Störungen. — Ansichten über Gebirgsbildung. — Der Bau der Alpen. — Senkungsgebiete. — Wesen der Gebirgsbildung. — Erloschene Gebirge. — Fortdauer der Gebirgsbildung. — Erdbeben in Niederösterreich und in Unteritalien. — Geographische Homologien. — Die Frage der Kontinentbewegungen. — Veränderlichkeit des Meeresspiegels. — Alter der Festländer.

Gebirgsformen.

Wir haben die Ausbrüche der Vulkane und die Stöße der Erdbeben für sich als Bewegungserscheinungen besprochen, ohne bisher ihren Zusammenhang mit größern, allgemeinern Vorgängen näher ins Auge zu fassen, durch welchen die wahre Bedeutung jener Phänomene erst klar wird. Vulkanische Eruptionen und Erdbebenstöße stellen nur die äußerlich und innerhalb einer kurzen Zeitpause für uns wahrnehmbaren Anzeichen großartigster Massenbewegungen dar, die wir unter dem Namen der Gebirgsbildung zusammenfassen. Haben uns schon die Erdbeben gezeigt, daß die Ruhe des Bodens, auf dem wir stehen, durchaus keine vollständige und allgemeine ist, so werden wir nun erkennen, daß im Laufe langer Perioden die ganze Oberfläche der Erde die gewaltigsten Verschiebungen erleidet, daß einige Teile einem in Wellenbewegung begriffenen Meere gleichen, während andre durch und durch zerklüftet in sich zusammenbrechen. Allerdings sind die Bewegungen so langsam, daß es uns scheint, als wären alle diese Massen mitten in einem Momente heftigster Aufregung erstarrt, und wir uns nur schwer davon überzeugen können, daß derselbe Vorgang noch immer in Thätigkeit ist.

Der gewöhnliche Sprachgebrauch versteht unter einem Gebirge eine Gruppe ansehnlicher, mehr oder weniger schroffer Bodenerhebungen. Aber vom geologischen Standpunkte aus faßt eine solche Erklärung sehr verschiedenartige Dinge zusammen, die ihrer Entstehung nach nur sehr wenig oder gar nichts miteinander gemein haben. Denken wir uns an einen

beliebigen Punkt des schwäbischen Unterlandes, nahe dem Absturze der Rauhen Alb, versetzt: Es umgibt uns ein flachwelliges Hügelland, und vor uns steht eine steile, pralle Bergmauer, in welche eine Anzahl von Wasserläufen Bresche legen, während sich nach der Niederung hin isolierte Bergkuppen, die Achalm bei Reutlingen, der Hohenstaufen und zahlreiche andre, von ihr loslösen. Eine Untersuchung der Gehänge ergibt horizontale Lagerung der Schichten, wenig gestört, wenn auch von einzelnen mehr oder weniger senkrechten Klüften durchsetzt, die aber auf den gesamten Landschaftscharakter keinen oder nur äußerst geringen Einfluß ausüben. Erreicht man die Höhe des Absturzes, so befindet man sich auf einer welligen Hochfläche, welche ebenfalls hier und da einige Kuppen trägt und sich in der Regel noch zu einer zweiten Terrasse erhebt. Im ganzen zeigt sich eine Oberflächengestaltung, die mit jenen gewaltigen Massenbewegungen nichts zu thun hat; wir sehen lediglich einen reichgegliederten Plateaurand vor uns, der durch allmähliche Erosion entstanden ist. Die mächtige, an 1000 Fuß dicke Kalktafel, welche die Höhe der Alb krönt, setzte sich ursprünglich als zusammenhängende Fläche nach Norden fort, sie wurde aber im Laufe vieler Jahrmillionen mehr und mehr von Gewässern angegriffen, abgenagt und eingeengt; der Steilrand läßt die Linie erkennen, bis zu welcher dieser Prozeß vorgeschritten ist.

Ein ganz andres Bild erscheint, wenn man etwa vom Turme des alten Münsters zu Freiburg im Breisgau Umschau über das umgebende Land hält: im Norden erhebt sich nach allen Seiten frei aus der Rheinebene der Kaiserstuhl, eine Gruppe dicht zusammengedrängter Berge ohne deutlich ausgesprochene Anordnung zu Ketten und weit entfernt von Plateaubildung, wie sie an der Schwäbischen Alb auftritt. Beim Besuche der Höhen finden wir nur Eruptivgesteine und Auswurfsprodukte, wir sehen lediglich die Aufschüttungen, welche eine Gruppe von Vulkanen aus der Tertiärzeit um die Ausbruchsstellen aufgeworfen hat. Auch der Kaiserstuhl muß nach dem Sprachgebrauche als ein Gebirge gelten, aber auch in ihm finden wir nichts von jenen tiefgreifenden Störungen, welche die großen Formen der Erdrinde verändern und ihre festen Massen verschieben.

Schauen wir von demselben Turme aus nach Osten, so erhebt sich vor uns die dunkle, unförmliche Masse des Schwarzwaldes. Der Hauptsache nach besteht sie aus uralten Gesteinen der Gneiß- und Granitfamilie. Die Schichten des erstern sind aufgerichtet, aber die Richtung derselben übt nur eine untergeordnete Wirkung auf die Kammbildung und die Terrainformen aus; vielfach sind Partien von Absatzgesteinen, namentlich vom Buntsandsteine der untern Trias, dem Urgebirge horizontal an- und aufgelagert. Fragen wir nun, welchem Vorgange der Schwarzwald seine Gestalt als Gebirge verdankt, so erhalten wir die Antwort, daß vielfach in seiner Masse, der Längserstreckung parallel, ungefähr von Norden nach Süden Spalten oder Bruchlinien verlaufen, längs deren Massenverschiebungen in der Weise stattgefunden haben, daß an der Spalte immer der von der Mittellinie des Gebirges weiter abgelegene Teil abgesunken ist. So waren Schwarzwald und Vogesen einst eine zusammenhängende Masse, und das Rheinthal zwischen ihnen hat sich gebildet, indem ein breiter Streifen in der Mitte in die Tiefe gebrochen ist. Auch nach Osten zu hatte das Land früher dieselbe Höhe wie der Schwarzwald, aber längs einer Reihe paralleler Spalten sind die Schichten abgesunken, so daß nun von einem dieser Brüche zum andern ein staffelförmiges Ansteigen gegen die Höhe stattfindet. Schwarzwald und Vogesen sind lediglich stehen gebliebene Pfeiler, sogenannte Horste, die sich in ursprünglicher Lage erhalten haben, während alles Übrige in der Umgebung niedergesunken ist. Aber auch das Gebirge selbst war ursprünglich wohl weit höher, denn wir haben alle Ursache zu der Annahme, daß einst über den höchsten Kuppen noch die ganze Mächtigkeit der Trias- und Juragesteine, wohl über 1000 m betragend, lag und im Verlaufe der Zeit durch Abtragung zerstört wurde.



DAS WAHSATCHGEBIRGE IN UTAH (Nordamerika)

Schaut man von einer der bedeutendern Höhen des südlichen Schwarzwaldes, etwa von dem Wartturme des Feldberges, an einem klaren Tage nach Süden, so erblickt man in ungeheurer Ausdehnung am Horizonte die riesige Zackenmauer der Alpen; vom Hochvogel im Algäu bis zum fernen Eisdome des Montblanc drängt sich Gipfel an Gipfel. Hier sind die Schichten gewaltig gestört, zu mächtigen Falten sind die Gesteine aufgestaut und aufgepreßt, in schärfster Entwickelung treten die Kammlinien in mehrfacher Folge hintereinander auf, und jede Kette ist in ihrem Verlaufe von der Schichtstellung, von der Anordnung der Falten und Störungslinien streng abhängig, während die Erosion, wenn auch in riesigem Maßstabe thätig, nur die Modellierung der Einzelheiten bedingt: es ist der vollkommenste Typus eines Kettengebirges. Ein andres Beispiel der Formen eines Kettengebirges siehe auf der beigehefteten Tafel „Das Wahsatchgebirge in Utah, Nordamerika".

Arten der Störungen.

An der Betrachtung von vier auf engem Raume bei einander gelegenen Beispielen haben wir gesehen, wie verschiedenartig vom geologischen Standpunkte jene Terrainhervorragungen sind, welche man in der Regel Gebirge nennt. In den Kuppenanhäufungen der Vulkangebiete wie in der Bildung verwickelter Plateauränder mit vorgeschobenen Einzelbergen ist keine ausgesprochene unmittelbare Einwirkung der großen Massenbewegungen der Erdrinde zu erkennen; am klarsten tritt uns diese bei den Ketten-, in zweiter Linie bei den Massengebirgen entgegen, aber wir werden auch über diese Gebiete hinaus großartige Vorgänge ähnlicher Art selbst in anscheinend ungestörten Tafelländern und bis in die Tiefebenen und Meeresbecken verfolgen können.

Die vollendeten Wirkungen der gebirgsbildenden Kräfte treten uns als Störungen in der Lagerung der Gesteine entgegen, die vorwiegend entweder in die Klasse der Brüche oder der Falten gehören.

Die Brüche sind Spalten, welche den Zusammenhang zwischen ursprünglich einheitlichen Massen der Erde zerreißen und meistens senkrecht oder steil in die Tiefe setzen, seltener nur unter geringem Winkel geneigt oder nahezu horizontal sind. Häufig liegen die Seitenwände dieser Spalten dicht aneinander an und haben dann sehr oft glänzende Rutschflächen, wohl auch mit scharf eingeritzten Furchen, welche auf eine Verschiebung der Bruchränder gegeneinander hinweisen und die Richtung angeben, in welcher diese erfolgt ist. Sehr oft aber befindet sich zwischen den beiden Seiten ein Zwischenraum, der bisweilen klafft, in der Regel aber durch einen „Gang", eine Ausfüllung durch verschiedene Mineralien, Erze oder aus der Tiefe emporgedrungene Eruptivgesteine, geschlossen ist.

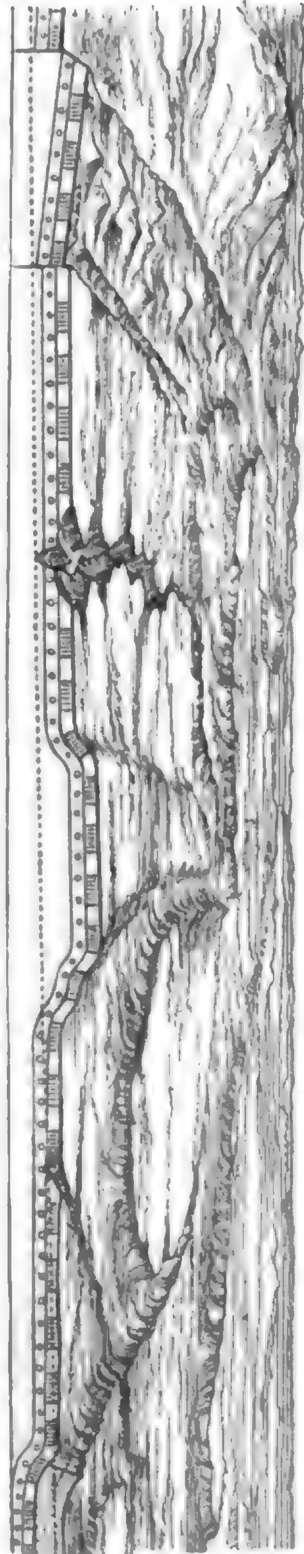
Die Bewegungen der Massen zu beiden Seiten des Bruches sind unter sich sehr verschieden. Die Verschiedenheit besteht zunächst in dem Maße der Verrückung, welches in den kleinsten, in der Natur sehr häufigen, aber meist kaum beachteten Fällen nur wenige Zentimeter beträgt, während es bei andern Brüchen Dimensionen von mehreren Kilometern betragen kann. Aber nicht nur die Größe, auch die Richtung der Verschiebung zeigt die bedeutsamsten Unterschiede; bei der häufigsten Gruppe, bei den echten „Verwerfungen", findet dieselbe in der Weise statt, daß der eine Flügel längs der in die Tiefe ziehenden Spalte abgesunken, „in die Tiefe geworfen", ist. Eine Reihe solcher Verwerfungen war es, die wir an den Rändern des Schwarzwaldes kennen gelernt haben; sie bedingten es, daß dieser als Gebirge über seine Umgebung hervorragt. Aber man kennt viele Fälle, in welchen bedeutende Verwerfungen an der Oberfläche gar nicht sichtbar sind; statt einen riesigen Steilabsturz zu finden, gehen wir über eine solche Spalte weg, ohne sie zu bemerken, da sie mit Humus und Vegetation verdeckt ist und die allgewaltige Wirkung der Erosion alle Unterschiede schon längst



DAS WAHSATCHGEBIRGE IN UTAH (Nordamerika)

wieder ausgeglichen hat. Es gibt wenige Erscheinungen, welche von dem ungeheuern Einflusse der Abtragung wie von der Länge der Zeiträume und der Langsamkeit der gebirgsbildenden Vorgänge einen so mächtigen Beweis liefern wie diese riesigen Bruchlinien, die wir an der Oberfläche gar nicht sehen, während sie ohne den Einfluß der abtragenden Kräfte hohe senkrechte Riesenmauern sein würden.

Neben den Verwerfungen, bei denen einfach ein Flügel an der Spalte abgesunken ist, kommen aber auch Brüche vor, längs deren eine Verschiebung in horizontalem Sinne stattgefunden hat. Ziemlich häufig sieht man z. B. in den Alpen den Fall, daß die geologische Zusammensetzung der Höhen zu beiden Seiten eines einem Bruche folgenden Thales sich nicht ganz entspricht, sondern daß die einander entsprechenden Gesteinszonen auf der einen Thalseite ein Stück weiter thalabwärts auftreten, so daß hier eine der Richtung des Thales folgende Verschiebung an einem Bruche in horizontalem Sinne vorliegt. Studer hat z. B. gezeigt, daß zu beiden Seiten des Thuner Sees in der Schweiz der Betrag der Verrückung etwa eine Meile beträgt. Im kleinen sieht man bisweilen sehr deutlich die Spuren einer solchen Bewegung in den wagerecht eingeritzten Furchen auf den Seiten von Spalten. Ein ganz ausgezeichnetes Beispiel dieser Art findet sich z. B. an der Straße, welche von Payerbach südlich von Wien in das große Höllenthal führt; hier sind zahlreiche kleinere Spalten sichtbar, deren Wandungen an den Gehängen dicht an der Straße aufgeschlossen sind und die im erwähnten Sinne geritzten Rutschflächen in einer Klarheit zeigen, wie sie sonst nur selten vorkommt.



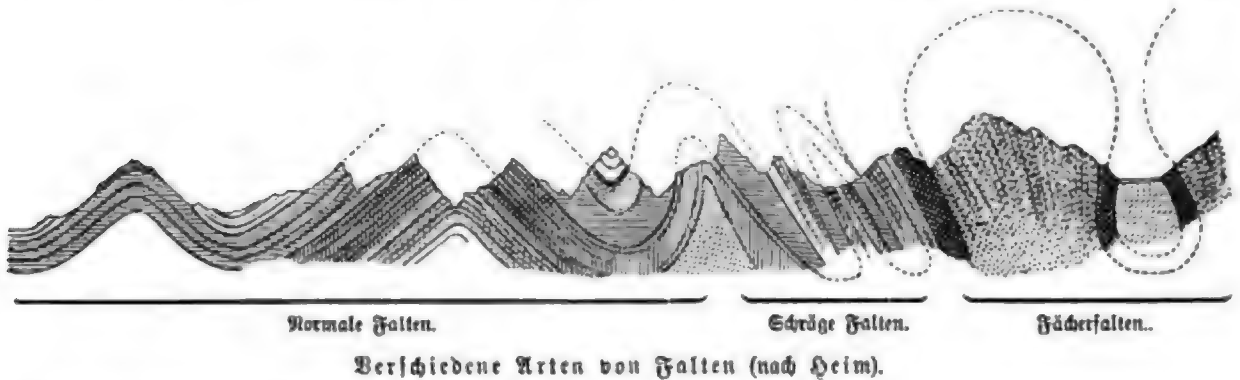
Durchschnitt durch das Colorado-Plateau, Nordamerika (nach Powell). Horizontale Schichten links mit Verwerfungen, rechts mit Flexuren; vierfach überhöht.

Ein Bruch und eine Falte scheinen zwei ihrer ganzen Wesenheit nach sehr verschiedene Bildungen, die kaum etwas miteinander gemein haben; allein ein Blick auf die Natur zeigt, daß dies in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Eine bei Verwerfungen häufige Erscheinung ist die sogenannte „Schleppung der Bruchränder“. Man sieht z. B. bei horizontalen Ablagerungen, daß unmittelbar an der Spalte die Schichten des tiefer abgesunkenen Flügels nach aufwärts, diejenigen des andern nach abwärts gebogen sind. Diese Schleppung kann nur in der Weise erklärt werden, daß, ehe der Bruch erfolgte, die eine Scholle schon absank und ein Stück des Schichtmateriales dabei nach abwärts gebogen wurde; als später der Betrag der Senkung auf der einen Seite größer wurde, die Spannung wuchs und endlich die Elastizitätsgrenze überschritten wurde, zerriß der geneigte Zwischenschenkel, und seine Reste blieben als die geschleppten Spaltenränder auf beiden Seiten zurück.

Oft ist es nicht bis zur Bildung des Bruches gekommen, sondern wir finden, daß ein horizontales Schichtsystem sich plötzlich steil in die Tiefe neigt, um dann in tieferm Niveau wieder ungestört und wagerecht sich auszubreiten. Solche Lagerungsformen, die man als Flexuren bezeichnet (s. obenstehende Abbildung), gehen ihrerseits in echte Falten über,

wie das deutlicher als aus einer Beschreibung aus dem beistehenden Profile hervorgeht, welches durch das Juragebirge vom Genfer See gegen Nordwesten gelegt ist. (Vgl. die beigeheftete Tafel „Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura".)

Über die Beschaffenheit der Falten ist verhältnismäßig wenig zu sagen; man unterscheidet je nach ihrer Stellung stehende, schiefe, liegende und horizontale Falten, und wo



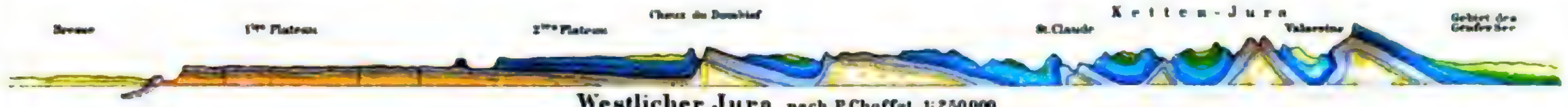
Verschiedene Arten von Falten (nach Heim).

sie zu Systemen angeordnet sind, wechseln in regelmäßiger Weise Mulden (Synklinalen) und Sättel (Antiklinalen) miteinander ab (s. obenstehende Abbildung).

So häufig auch im Gebirge das Auftreten von Falten ist, so ist doch die Art und Weise ihres Zustandekommens noch sehr fraglich. Die härtesten und sprödesten Gesteine sind oft ebenso wie wenig widerstandskräftige in die kühnsten Falten gebogen; Kalke und Dolomite, Sandsteine, Quarzite, Feuersteine, Gneiße, Glimmerschiefer, Thonschiefer, Thone, sie alle sind dieser Erscheinung gleichmäßig unterworfen, und es scheint kaum begreiflich, wie die starrsten unter diesen Materialien die stärksten Krümmungen erleiden konnten, ohne in Splitter und Scherben zermalmt zu werden. Man könnte etwa vermuten, daß diese Faltungen vor sich gegangen sind, ehe die Gesteine erhärtet waren; allein eine solche Annahme ist unhaltbar. Wir kennen Fälle, in welchen eine und dieselbe Falte Gesteine paläozoischen und jungmesozoischen, sogar tertiären Alters umfaßt, und geradezu unzählig sind die Beispiele, in welchen z. B. die ganze mesozoische Schichtreihe in einer Falte vertreten ist. Es wird wohl kein Geolog der Ansicht sein, daß z. B. der Buntsandstein noch eine lose Sandbildung, der Muschelkalk ein unzusammenhängendes Haufwerk von Schalenzerreibsel war, als die obere Kreide sich ablagerte; um so weniger, als in Konglomeraten dieses oder selbst höhern Alters schon die Bruchstücke des vollständig erhärteten Gesteines vorkommen (z. B. fester Jurakalk in Neokomgesteinen der Karpaten). Diese Erscheinungen sind höchst sonderbar. Ich erinnere mich noch des Staunens, als ich vor 15 Jahren in den Karpaten, in der Nähe von Szczawnica in Galizien, ein mächtiges Schichtsystem des sprödesten Feuersteines in eine fragezeichenförmige Falte zusammengekrümmt sah. In vielen Fällen allerdings ist das Material in der Region der stärksten Biegung zerbrochen, aber sehr



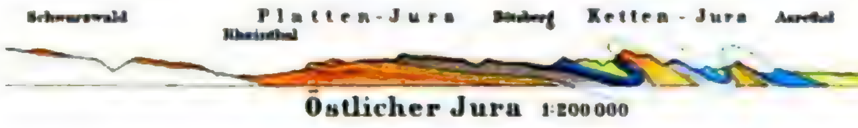
Gefältelter Schiefer mit zwei kleinen Verwerfungen (nach Heim). Vgl. Text, S. 313.



Westlicher Jura nach P. Choffat 1:250000

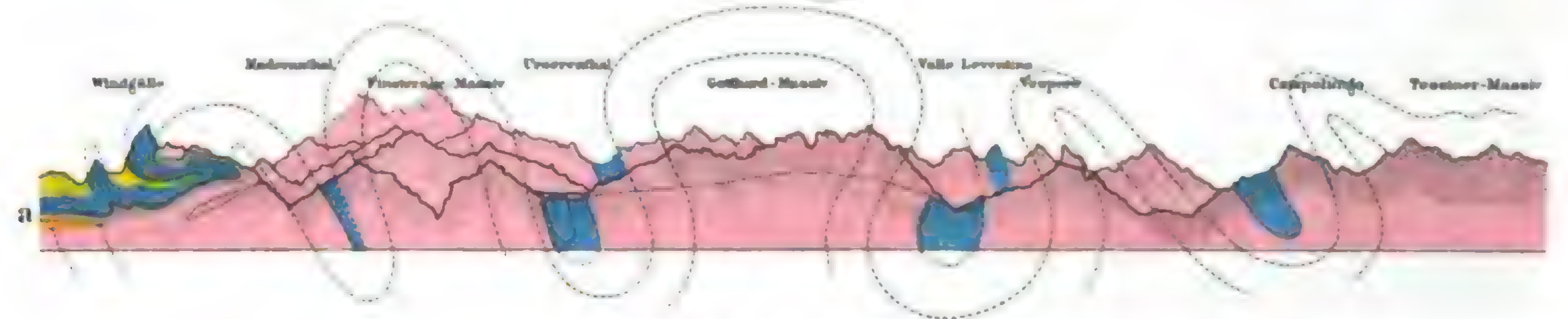


Mittlerer Jura nach Thurmann 1:250000



Östlicher Jura 1:200000





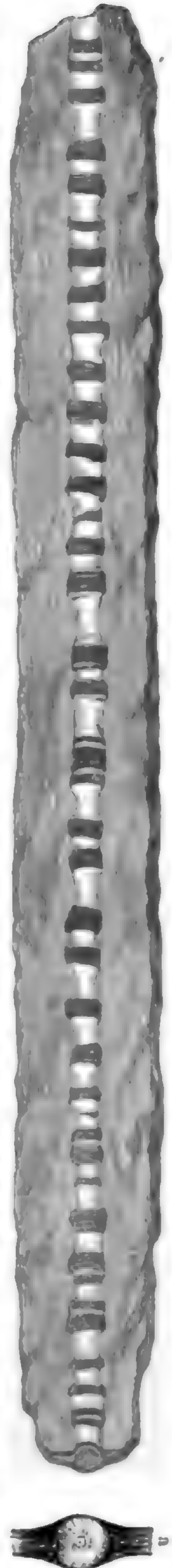
Nordabfall der Zentralalpen

Trias — Kreide — Eocän — Miocän — Oberer Jura — Lias und mittlerer Jura — Krystallinischer Schiefer und paläozoische Bildungen

Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura (nach *Heim*).

häufig sieht man auch vollständig homogene Schichten sich in der wunderbarsten Weise krümmen.

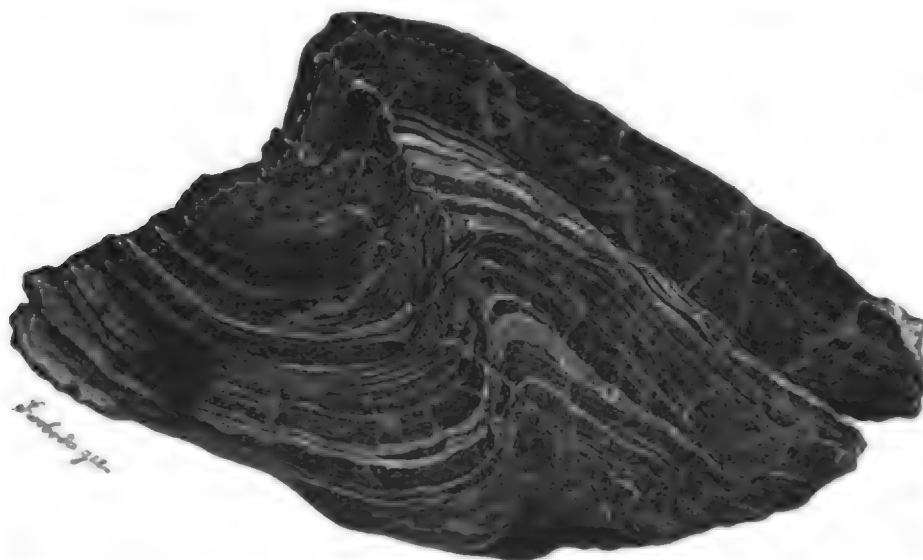
Namentlich in neuerer Zeit ist dieser Gegenstand vielfach besprochen worden, besonders im Anschlusse an die Arbeiten der Schweizer Geologen über die merkwürdigen Faltungen am Nordrande der Finsteraarhornmasse. Heim nahm an, daß alle Gesteine schon unter einem Drucke von etwa 2000 m auflastenden Schichtmateriales in einen plastischen Zustand übergehen und dann ohne Bruch gebogen werden können; er ist sogar der Meinung, daß in solchen Fällen ursprünglich sehr mächtige Schichtsysteme auf einen geringen Bruchteil ihrer ursprünglichen Masse ausgewalzt werden können. Auch Baltzer ist, wiewohl weniger weit gehend, in seinen Ansichten vielfach zu ähnlichen Ergebnissen gelangt. Es wäre aber übereilt, heute über diesen Gegenstand schon ein Urteil fällen zu wollen. Die Annahme, daß bei einer Belastung von nur 2000 m Schichtmaterial schon Plastizität eintritt, hat den allerentschiedensten Widerspruch gefunden und dürfte kaum haltbar sein. Ebenso wird man die Erscheinung, daß ein und derselbe Kalkhorizont an einer Stelle ungefähr 1000 Fuß mächtig, an der andern aber auf wenige Fuß reduziert ist, wohl eher auf ursprüngliche Verschiedenheiten, auf linsenförmige Entwickelung, als auf eine Auswalzung zurückführen müssen. Aber auf der andern Seite lassen Erscheinungen, wie die zarte Fältelung von Falten im Thonschiefer (s. die untere Abbildung, S. 312) oder die Streckung eines Gesteines, wie sie die nebenstehende Abbildung eines zerrissenen und fast auf das Dreifache der ursprünglichen Länge auseinander gezerrten Belemniten auf einer homogen scheinenden Platte zeigt, sich kaum ohne einen gewissen Grad von Plastizität erklären. Oft sieht man allerdings an der Biegungsstelle deutliche Sprünge; Gümbel hat Proben der stärkst gebogenen Stellen aus scheinbar ganz bruchlos gefalteten Gesteinen in Dünnschliffen unter dem Mikroskope untersucht und gefunden, daß diese Stücke, welche dem freien Auge und selbst unter der Lupe ganz unzerbrochen erschienen, bei starker Vergrößerung sich als zu feinem Staube zermalmt und dann wieder zusammengekittet erwiesen (s. Abbildung, S. 314). Ob dieser Vorgang bei aller Faltung schon erhärteter Gesteine Platz gegriffen hat, oder ob auch wirklich ganz bruchlose Biegung vorkommt, müssen künftige Untersuchungen entscheiden; Kalke und andre spröde Gesteine künstlich durch starken Druck plastisch zu machen, ist bisher nicht gelungen, während bei andern Stoffen, namentlich bei Metallen, dies wirklich der Fall ist. Wie immer auch diese auffallenden Erscheinungen sich noch erklären werden, so viel ist jedenfalls durch unwiderlegliche Beobachtung festgestellt, daß auch feste Gesteine der weitgehendsten Faltung unterworfen werden.



Mehrfach zerrissener und auseinander gezerrter Belemnit auf einem Schieferstücke (nach Heim). Die schwarzen Stücke sind die einzelnen Bruchstücke des Belemniten, zwischen denselben liegt heller Kalkspat. Die kleinere Figur a stellt einen Querbruch durch das Stück dar.

Nachdem wir eine Reihe von einzelnen Arten der Störungen kennen gelernt haben, drängt sich uns die Frage nach den Kräften auf, welche diese Erscheinungen hervorgebracht haben. Bei der Beantwortung dieser Frage sind zwei ganz verschiedene Seiten des Problemes ins Auge zu fassen. Zunächst müssen wir den Gegenstand rein mechanisch untersuchen und feststellen, in welcher Richtung eine Kraft

auf eine Gesteinsschicht wirken muß, um eine Falte, eine Verschiebung in dieser oder jener Richtung hervorzubringen. Wir befassen uns dabei nicht mit der Frage, woher diese Kraft rührt, mit welchen Vorgängen deren Entwickelung in Zusammenhang steht; es ist uns daher ganz gleichgültig, ob es sich um ein in der Natur auftretendes Vorkommen oder um eine ähnliche Erscheinung handelt, die wir im Laboratorium künstlich hervorrufen, oder um einen rein ersonnenen Fall, den der Mathematiker seiner Rechnung unterzieht. Erst wenn wir darüber klar sind, kommt das weitere und für den Geologen viel bedeutungsvollere Problem zur Sprache, wie die Störungen in der Natur entstanden sind, und hier dürfen wir uns natürlich nicht mit den einzelnen Erscheinungen als solchen befassen, sondern müssen ihren Zusammenhang im großen, wie ihn ein ganzes Gebirgssystem zeigt, zu überblicken suchen.



Gefalteter Thonschiefer, an der Biegungsstelle von zahlreichen Sprüngen durchsetzt (natürl. Größe). Vgl. Text, S. 313.

Wir wenden uns zuerst zu dem einfachsten Falle, zu einer senkrecht in die Tiefe gehenden Spalte, an der die beiden anstoßenden Flügel ebenfalls senkrecht gegeneinander verschoben sind. In diesem Falle ist es klar, daß eine vertikal von oben nach unten oder umgekehrt wirkende Kraft wesentlich bei der Verschiebung der Massen thätig gewesen sein muß, wobei immerhin die Spalte selbst in andrer Weise entstanden sein kann. Sind dagegen an einer irgendwie gearteten Spalte die beiden Ränder horizontal gegeneinander verschoben, so muß eine horizontale Kraft, ein Schub, gewirkt haben. Was endlich die Falten betrifft, so ist die Sache nicht auf den ersten Blick ebenso klar. Ein Faltensattel kann in der Weise gebildet sein, daß die Kammlinie senkrecht von unten emporgedrängt ist, so daß also eine Reihe nebeneinander gelegener Falten durch ebenso viele selbständige Hebungslinien bedingt sein müßte. Wenn auch eine solche Annahme wenig natürlich ist, muß die mechanische Möglichkeit doch anerkannt werden; aber diese Möglichkeit ist nicht die einzige, denn auch horizontale Zusammenschiebung kann die Ursache der Faltenbildung sein. Denken wir uns eine vorhandene Falte wieder ausgeplättet, die Schichten wieder in ihre ursprüngliche horizontale Lage versetzt, so werden sie einen größern Flächenraum einnehmen als vorher in gefaltetem Zustande. Faltung stellt also einen Zusammenschub des geschichteten Gesteinsmateriales auf einem kleinern Raume dar, wir werden daher erwarten dürfen, daß eine horizontale Zusammenpressung eine solche Wirkung ausübt und die Schichten in Falten legt. Der Beweis ist in sehr verschiedener Art durch ein Experiment zu erbringen: legt man z. B. eine Anzahl verschieden gefärbter Tuchstoffe in viereckigen Stücken übereinander, beschwert sie von oben mit einem Buche und schiebt sie ebenfalls mit Hilfe zweier Bücher von der Seite zusammen, so sieht man, daß die Tuchstreifen in regelmäßige Falten gelegt werden.

Wir verfolgen diesen Gegenstand nicht weiter; es genügt, zu wissen, daß gewisse dieser Erscheinungen durch senkrecht, andre durch annähernd horizontal wirkende Kräfte erzeugt sein

müssen, während für eine dritte Gruppe die eine wie die andre Entstehungsweise denkbar ist. Diese dritte Gruppe, für welche in erster Linie das Vorkommen in der Natur entscheidend sein muß, sind die Falten; in der Regel treten dieselben nicht vereinzelt auf, sondern gewöhnlich zu einem Systeme von mehreren vereinigt, das sich dann im Streichen oft über außerordentlich lange Strecken verfolgen läßt. Wenn wir die Falten des Juragebirges vom Rhône bis in den Aargau, solche des alpin-karpatischen Systemes von Genf bis Galizien verfolgen können, dann dürfen wir offenbar nicht an eine Menge einzelner paralleler Hebungslinien, sondern nur an eine seitliche Zusammenschiebung denken.

Diese Anschauung ist jetzt wohl die allgemeine, doch stehen sich dabei zwei Ansichten gegenüber. Die eine nimmt an, daß im Zentrum, längs der Mittellinie eines Gebirges, eine Kraft senkrecht von unten nach oben wirkt, welche hebt, dabei die Ränder nach außen verschiebt und so als Gefolgeerscheinung den horizontalen, die Faltung bedingenden Druck erzeugt. Die andre Auffassung nimmt bei der Aufrichtung der Kettengebirge nur eine Zusammenschiebung in horizontalem Sinne an, welche durch seitlichen Druck die Schichtmassen in Falten legt. In dem Gegensatze dieser zwei Anschauungen liegt der Kernpunkt des großen Problemes der Gebirgsbildung.

Ansichten über Gebirgsbildung.

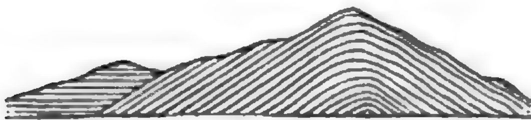
Daß Hebungen und Senkungen des Bodens vorkommen, ist schon seit langer Zeit von verschiedenen Forschern angenommen worden. Man hat wohl auch die Vulkane und die Kräfte, welche deren Ausbrüche hervorbringen, mit der Entstehung der Gebirge in Verbindung gebracht; doch hatten derartige Ansichten keine allgemeine Verbreitung. Selbst in den ersten Zeiten des Beginnes einer wissenschaftlichen Geologie in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war man von einer richtigen Auffassung noch so weit entfernt, daß sogar Werner, der Begründer des geologischen Systemes, gar keine Aufrichtung der Gebirge annahm, sondern der Ansicht war, daß alle Gesteine, mit Ausnahme der Gneiße, Granite 2c. sowie der Laven der jetzt thätigen Vulkane, durch Wasser gebildet seien, und daß dieselben im allgemeinen so lägen, wie sie sich ursprünglich abgelagert hätten. Die Gebirge waren nach ihm nur durch die Abtragung durch die Atmosphärilien gleichsam aus ihrer Umgebung herausgeschält, steile Aufrichtung der Schichten galt ihm als eine rein lokale, durch Einstürze hervorgebrachte Erscheinung.

Diese Auffassung, welche einige Zeit lang ziemlich allgemeine Anerkennung fand, wurzelte, wie wohl die meisten Irrtümer Werners, in dem Umstande, daß dieser große Mann nie über die nahe Umgebung seines Wohnortes hinausgekommen ist und nicht viel mehr als die Gegend von Freiberg gesehen hat. Bei der Ausdehnung der Beobachtung über größere Gebiete und namentlich auf bedeutende Hochgebirge mußte die Unrichtigkeit seiner Meinung sich bald ergeben, und wirklich waren es die ersten tastenden Schritte der Alpengeologie, welche einen Fortschritt in diesen Anschauungen brachten. Der Pfadfinder auf diesem schwierigen Gebiete, Saussure, fand in den Alpen allenthalben steil aufgerichtete Ablagerungen, er sah namentlich in der Montblanc-Gruppe aus Rollsteinen bestehende Massen, die durch ihn bekannt gewordenen Konglomerate von Valorsine mit senkrecht stehenden Schichten, und schloß, daß hier eine gewaltsame Aufrichtung, eine den ganzen Gebirgsstock betreffende Zerreißung stattgefunden habe, die auch weiterhin in den Alpen zu verfolgen sein müsse.

Die Ansichten über die Aufrichtung der Gebirge, welche sich in den nächsten Jahrzehnten geltend machen, stehen mit der damals herrschenden Richtung der Geologie im innigsten Zusammenhange. Im Gegensatze zu dem „Neptunismus" Werners, der im

Wasser allein den allmächtigen Faktor der Neubildung wie der Veränderung an der Erdoberfläche sah, hatte sich eine andre Auffassung verbreitet, die der innern Erdwärme und den geschmolzenen Massen der Tiefe einen überaus weit gehenden Einfluß auf alle Vorgänge zuschrieb. Die „Plutonisten", die Anhänger dieser Richtung, sahen in dem Empordrängen feuerflüssiger Gesteine die Ursache der Gebirgsbildung; es war die Zeit, in welcher die oben (s. S. 172) besprochene Lehre von den Erhebungskratern im höchsten Ansehen stand, und es lag nahe, ebenso wie die Ringwälle der Vulkane, auch die Gebirgsketten einer Auftreibung durch von unten nach oben dringende Massengesteine zuzuschreiben. In den Alpen sah man in der Mittelzone Granite, Gneiße und ähnliche Gesteine und hielt sie für die Gebirgsbildner, während in andern Gebirgen, wo solche kristallinische Gesteine fehlten, z. B. im Juragebirge, die Massen nicht bis zum Durchbruche an die Oberfläche gelangt, aber in einiger Tiefe doch vorhanden sein sollten. In der Regel wurde dabei angenommen, daß die Aufrichtung der Gebirge plötzlich mit Einem Rucke vor sich gegangen sein sollte.

Natürlich waren die Ansichten der Forscher nicht in allen Punkten übereinstimmend. Wir können aber nicht auf alle Meinungsverschiedenheiten unter den Plutonisten näher eingehen; nur eine sehr eigentümliche Theorie sei hier erwähnt, die durch die Großartigkeit ihrer Auffassung wie ihrer Irrtümer sich auszeichnet und bis in unsre Zeit herein in manchen Werken eine große Rolle spielt. Der berühmte französische Forscher Elie de Beaumont suchte für die ganze Erde Richtung und Alter der Gebirge festzustellen und in diesen Beziehungen Gesetzmäßigkeiten nachzuweisen. Sein großes Verdienst in dieser Hinsicht besteht darin, daß er zuerst und in vielen Fällen mit Erfolg den Versuch machte, die Zeit zu bestimmen, in welcher die Aufrichtung der verschiedenen Gebirge erfolgte. Die dabei angewandte Methode ist sehr einfach und klar: man sucht im Gebirge das Alter der jüngsten Schicht zu bestimmen (s. obenstehende Abbildung), die noch an der Aufrichtung teilgenommen hat, während anderseits das Alter der ältesten Ablagerung festgestellt wird, welche, ohne von der Aufrichtung des Gebirges betroffen zu sein, ungestört am Fuße desselben ruht. Die Aufrichtung muß dann in der Zeit zwischen der Ablagerung der aufgerichteten und der horizontal liegenden Schicht erfolgt sein.

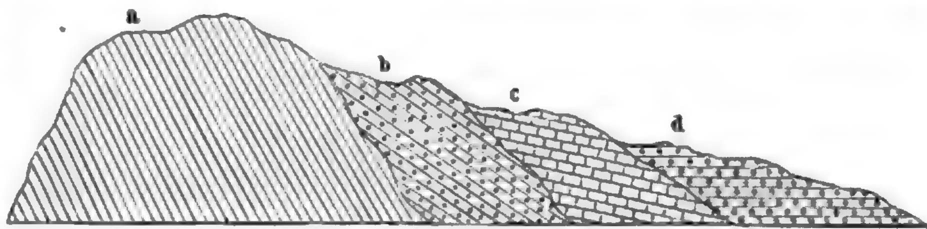


Schema für die Bestimmung des Alters eines Gebirges. Die gefalteten Schichten sind vor, die horizontalen nach der Aufrichtung des Gebirges abgelagert.

Von so großer Wichtigkeit die Einführung dieses Grundsatzes und dieser Methode ist, so ist doch in der Art, wie Beaumont sie anwendete, schon ein Irrtum enthalten. Er setzte voraus, daß sich die Gebirge momentan mit Einem Rucke bilden; da dies aber nicht der Fall ist, sondern die Aufrichtung zusammengesetzter Bergketten lange Zeiträume hindurch fortdauert, so erhalten wir auf dem angegebenen Wege offenbar nur das Alter der jüngsten Bewegung der Massen, das Datum ihres Abschlusses, nicht die Zeit der Aufrichtung überhaupt. Ein einfaches Beispiel mag dies erläutern: Auf der Insel Kos an der kleinasiatischen Küste treten Ablagerungen verschiedenen Alters in sehr verschiedenen Lagerungsverhältnissen auf (s. Abbildung, S. 317). Ein ziemlich hohes Gebirge besteht aus kristallinischen Schiefern mit Marmorlagen und aus Kalken der Kreideformation, welche sämtlich sehr stark aufgerichtet und gestört sind. An diese Massen, welche gleichsam das feste Rückgrat der Insel bilden, lagern sich jüngere Bildungen, dem Tertiär angehörig, an, welche weniger aus ihrer ursprünglichen Lage gerückt sind. Das älteste Glied dieser Reihe bilden Süßwasserkalke miocänen Alters, welche an den Gehängen bis zu einer Höhe von mindestens 300 m hinanreichen und unter einem Winkel von 45° geneigt sind; dann folgen altpliocäne Süßwasserschichten und jungpliocäne Meeresbildungen, welche weniger hoch an den Bergseiten hinaufreichen und nur

etwa unter 15—20° geneigt sind, während Meeresablagerungen des jüngsten Pliocäns und der Diluvialzeit horizontal und ungestört am Rande des Gebirges liegen. Wir sehen in diesem Falle von den ältesten zu den jüngsten Bildungen eine Stufenfolge immer schwächer werdender Aufrichtung, welche offenbar einer Reihe aufeinander folgender Stadien der Aufstauung des Gebirges entspricht. Eine erste Bewegung erfolgte nach der Ablagerung der Kreidekalke und vor derjenigen der miocänen Süßwasserkalke, auch diese mußten vor der Bildung der pliocänen Schichten schon aufgerichtet sein, und die letzten Emporschiebungen dauern bis ins obere Pliocän. Während also eine genaue Prüfung hier eine länger dauernde Periode der Bewegung ergibt, würde die Beaumontsche Methode den ganzen Vorgang in die Zeit zwischen die Ablagerung des jüngern und des jüngsten Pliocäns versetzen.

Allerdings war Beaumont später genötigt, in manchen Fällen, z. B. bei den Pyrenäen, mehrere aufeinander folgende Bewegungen anzunehmen; dann aber mußte er nach seiner Theorie, wie wir sehen werden, für jede derselben eine andre Richtung voraussetzen, und die große Hauptbewegung, welche den ganzen Charakter des Gebirges bedingt, mußte trotzdem eine einheitliche bleiben. Für ihn bildet diese einen einmaligen, rasch und mit furchtbarer Gewalt erfolgenden Akt, eine gewaltige Katastrophe. Da er nun durch seine Studien gefunden hatte, daß wiederholt in der Geschichte der Erde zu sehr verschiedenen Zeiten Gebirge entstanden seien, so lag es nahe, in diesen Vorgängen die Revolutionen zu sehen, welche nach Cuviers Theorie am Schlusse jeder geologischen Formation eintreten und alles Lebendige vertilgen sollten. Er stellte sich die Sache so vor, daß die in ihrem Innern in heißem Schmelzflusse befindliche Erde im kalten Weltraume sich bewegt und wie jeder sich abkühlende Körper eine Zusammenziehung erleidet. Dabei kontrahiert sich namentlich der innere flüssige Kern, während die Rinde, die verhältnismäßig äußerst dünn gedacht wird, infolge ihrer Starrheit sich dem Kerne nicht anzuschließen vermag; die Schale wird zu weit für die glühenden Massen im Innern, es bildet sich ein leerer Raum zwischen beiden, endlich bricht die Kruste zusammen und legt sich nun wieder dicht auf die feuerflüssige Kugel im Innern. Nun tritt eine Ruhepause ein, bis infolge weiterer Abkühlung eine neue Berstung stattfindet. Solche Katastrophen haben sich seit den ältesten Zeiten wiederholt, und eine solche kann neuerdings jeden Augenblick eintreten. Bei dem Zusammenbruche der festen Kruste werden dann die Gesteine an den Bruchrändern einer gewaltigen Seitenpressung unterworfen, zu Gebirgen aufgerichtet, von Spalten durchzogen, während die damit verbundenen Erschütterungen alle Organismen vertilgen. Die Zusammenbrüche der Erdkruste sollen nun streng gesetzmäßig nach regelmäßig geometrisch gelagerten Linien erfolgen. Beaumont nahm an, daß alle Gebirgszüge, Spalten, Verwerfungen, Gänge, welche parallel oder senkrecht zu einander verlaufen, gleichzeitig seien und einem und demselben großen Zusammenbruche ihre Entstehung verdanken. Indem er diese verschiedenen Richtungen miteinander verglich, glaubte er erkennen zu können, daß sie alle zusammen eine streng geometrische Figur darstellen und zwar zunächst die Form des aus der Kristallographie bekannten Pentagonaldodekaeders; dazu kamen dann die Kantenrichtungen einiger verwandter Kristallformen, außerdem noch bestimmte Hilfsrichtungen, so daß über 100 Systeme entstanden, deren jedes



Schematisches Profil durch die Insel Kos. a Älteres Gebirge — b miocäner Süßwasserkalk — c altpliocäne Süßwasserschichten — d jungpliocäne Meeresbildungen. Vgl. Text, S. 316.

auf einem ein paar Hundert Meilen breiten, rings um die Erde verlaufenden Gürtel verfolgbar sein sollte. Es wurde von **Beaumont** und einer großen Anzahl seiner Schüler und Arbeitsgenossen mit einem unsäglichen Aufwande von Zeit, Mühe und Arbeitskraft der Nachweis versucht, daß sich alle Gebirgsrichtungen, Spalten 2c. in einer ihrem Alter entsprechenden Weise auf Linien des „Pentagonalnetzes" zurückführen lassen, was auch in der Regel in einer oder der andern Weise gelang, da man über 100 verschiedene Richtungen zur Verfügung hatte, und da in jedem einzelnen Falle ganz ansehnliche Abweichungen von 4—5° als unwesentlich außer acht gelassen wurden.

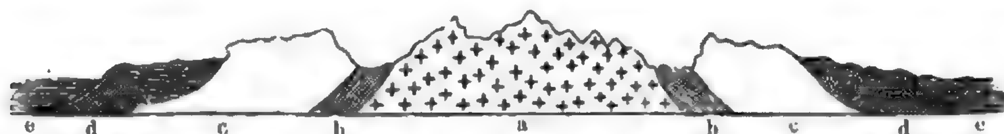
In Frankreich fand **Beaumonts** Theorie, namentlich infolge seines persönlichen Einflusses als Lehrer und Direktor der Pariser Bergakademie, große Verbreitung; außerhalb Frankreichs erwarb sie aber nur wenige Anhänger, welche sich ihr in allen Punkten angeschlossen hätten, und allmählich hat man sich auch in Frankreich von derselben abgewendet, so daß sich nur noch einige wenige Schüler **Beaumonts** zu derselben bekennen. Die Existenz einer so dünnen Erdkruste, die im Verhältnisse kaum so dick wäre wie die Schale eines Eies, hat sich als unhaltbare Annahme erwiesen, die Zurückführung der Entstehung der Gebirge auf einen einzigen rasch erfolgenden Akt hat sich als unmöglich gezeigt, die Hypothese, daß parallel oder senkrecht zu einander verlaufende Störungen gleichzeitig, unter spitzem Winkel sich schneidende ungleichzeitig seien, ist durchaus willkürlich. Die Beweise, welche man dafür beizubringen versucht hat, sind nur scheinbare. Bei der großen Menge der zur Verfügung stehenden Systeme, bei dem Umstande, daß Fehler bis zu 5° nicht beachtet wurden, bei der Unsicherheit in der genauen Altersbestimmung vieler Hebungen ist es ziemlich klar, daß fast jede Gebirgsrichtung sich irgendwie in geeigneter Weise unterbringen ließ; immerhin aber sind einige Beispiele bekannt, die sich trotz alledem nicht fügen wollen (Pyrenäen, Longmynd). Die Verfolgung der Hauptgebirgsrichtungen in den verschiedensten Weltteilen, die Bestimmung des Alters der Aufrichtung bilden ein bleibendes Verdienst **Beaumonts** auch in dieser Hinsicht; was aber darüber hinausgeht, sind geistreiche Phantasien, deren scharfsinnige Durchführung man bewundern kann, ohne ihnen Berechtigung zuzugestehen.

Die Ansicht von einer raschen Aufrichtung der Gebirge hat so ziemlich allen Boden verloren; die durch **Hoff**, **Lyell** und **Prevost** eingeleitete Richtung der neuern Geologie sieht auch in diesen gewaltigen Erscheinungen nur die **Summierung einer großen Menge von kleinen Einzelwirkungen**. Ein plötzlich von unten nach oben wirkender Stoß könnte bei genügender Stärke die darüberliegenden Schichten zersprengen, zertrümmern, in Splitter zermalmen, aber er würde nie ausgedehnte, regelmäßige Faltensysteme erzeugen, wie wir sie in unsern Kettengebirgen vor uns sehen; diese können nur infolge eines lange anhaltenden Druckes sich allmählich gebildet haben. Wenn aber auch in dieser Beziehung jetzt wohl allgemeine Übereinstimmung herrscht, so stehen sich doch, wie schon oben erwähnt, in andrer Beziehung entgegengesetzte Ansichten gegenüber, indem die einen die Entstehung der Kettengebirge einer rein senkrecht von unten nach oben wirkenden Kraft, die andern einer horizontalen Zusammenschiebung zuschreiben.

Es ist klar, daß die Gebirge verschieden gestaltet sein müssen, je nachdem sie auf die eine oder auf die andre Weise entstanden sind. Wir müssen also prüfen, welcher Annahme sich die Thatsachen in der Natur am besten anschmiegen. Nehmen wir eine Entstehung durch **senkrechte Hebung** an, so brauchen wir vor allem einen Träger dieser Kraft, wir müssen eine von unten nach oben vordringende Masse haben, welche die überlagernden Schichten emportreibt. Den kristallinischen Gesteinsmassen wurde und wird auch noch eine solche Rolle zugeschrieben, sie soll Masseneruptionen der Tiefe darstellen, welche diese Wirkung hervorgebracht haben. In den Alpen, deren Betrachtung für den größern Teil der Theorien über Gebirgsbildung maßgebend geworden ist, finden wir, wenn wir in der

östlichen Hälfte einen Durchschnitt von Norden nach Süden machen, zuerst einen Gürtel niederer Sandsteinberge; dann folgen in ansteigender Höhe die Kalkberge, darauf treten in der Regel die aus paläozoischen Gesteinen bestehenden gerundeten Höhen der „Grauwackenzone" auf, südlich von ihnen die aus kristallinischen Massen bestehenden Zentralalpen und weiter im Süden wieder Grauwacken- und Kalkzone. Wenn auch die Verhältnisse nicht so einfach sind, wie es vielfach dargestellt wird, so lassen sich doch diese gröbsten Hauptzüge des Aufbaues mit der Annahme vereinigen, daß die Gesteine der Mittelzone heraufgedrungen, die Decke der geschichteten Gesteine gesprengt und zu beiden Seiten, nach Norden und Süden, in Falten zurückgestaut haben, wie es etwa das untenstehende Idealprofil darstellt. Es läßt sich auch denken, daß die kristallinischen Gesteine der Mittelzone die überlagernden Schichten nicht durchbrechen, sondern in der Tiefe verborgen bleiben; jedenfalls müßten aber auf diesem Wege stets symmetrisch gebaute Gebirge entstehen, welche von einer Mittellinie aus nach beiden Seiten hin annähernd gleich gebaut sind.

Ganz anders müssen sich die Verhältnisse gestalten, wenn eine horizontale Zusammenschiebung der Schichten die Ursache der Aufrichtung der Kettengebirge ist. Statt eines symmetrischen, von einer Achse nach beiden Seiten hin gleichförmigen müssen wir



Schematischer Durchschnitt der Alpen vom Standpunkte der Hebungstheorie aus. a Kristallinische Mittelzonen — b b Grauwackenzonen — c c Kalkzonen — d d Sandsteinzonen — e e Ebene.

einseitigen Bau der Gebirge finden; die Ablagerungen müssen nach einer Richtung vorgeschoben sein, während auf der entgegengesetzten Seite, aus welcher der Schub kommt, ein gewaltiger Bruch den Abschluß bildet.

Was die Wahrscheinlichkeit der einen oder andern dieser Annahmen betrifft, so läßt sich nicht verkennen, daß die Erklärung der Gebirgsbildung als Hebung durch senkrecht emporwirkende Massen sich in ihren Ursprüngen wesentlich auf die Erscheinungen des sogenannten Erhebungskraters stützt, also nach unsern frühern Darlegungen hinfällig wäre. Wir haben aber in den Lakkolithen (s. S. 177) Erscheinungen kennen gelernt, die keine andre Deutung zulassen, als daß empordringende Trachytmassen eine mächtige domförmige Aufwölbung der über ihnen lagernden Schichtmassen hervorgebracht haben. Zwar sind die Erscheinungen und die resultierenden Lagerungsverhältnisse derartige, daß sie allem andern eher ähnlich sind als dem Baue unsrer Kettengebirge; aber wir werden immerhin diesen Thatsachen gegenüber nicht mehr unbedingt an dem Satze festhalten dürfen, daß Massengesteine überhaupt nicht im stande seien, eine Aufrichtung von Schichten zu veranlassen. Es bleibt uns also nur die Betrachtung der einzelnen Fälle übrig, um aus dem Vergleiche mit den Anforderungen der einen und der andern Theorie ein Urteil zu bilden.

Dana und mehrere andre amerikanische Forscher haben den einseitigen Bau der Gebirge Nordamerikas dargethan und sich für deren Entstehung durch horizontale Zusammenziehung ausgesprochen; vor allem aber haben die Arbeiten von Sueß bewirkt, daß jetzt wohl die Mehrzahl der Geologen sich dieser Ansicht angeschlossen hat. Als typische Beispiele von einseitigen Gebirgen können die Apenninen, Karpaten und das Juragebirge, die Alleghanies in Nordamerika und viele andre gelten. Im gefalteten Juragebirge fällt die innere Seite steil nach Südwesten gegen die Alpen ab, die Falten sind großenteils nach Norden geneigt; am Außenrande werden sie vielfach schwächer und gehen in einfache Flexuren über, dann stellen sich Längsbrüche mit geschleppten Flügeln ein, und endlich wird die Lagerung

ganz horizontal. An andern Punkten sehen wir dagegen die äußerste Falte der Jurakette über die nördlich anstoßenden ungestörten Ablagerungen übergeschoben, so daß die weit ältern Schichten der Juraformation[1] über jüngerm Tertiär zu liegen kommen. (Vgl. die Tafel „Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura“ bei S. 312.) Solche Vorkommnisse einseitiger Gebirge sind jedoch nicht auf die geringe Zahl der citierten Beispiele beschränkt, sondern man kann fast überall, wo unsre Kenntnis des Baues etwas fortgeschritten ist, an den Kettengebirgen eine innere, steil abgebrochene und eine äußere Seite unterscheiden, in deren Richtung die horizontale Bewegung stattgefunden hat.

Der Bau der Alpen.

Die allgemeine Regel ist das Auftreten einseitiger Gebirge, wie es die Entstehung durch horizontale Zusammenschiebung bedingt. Trotzdem herrschte lange Zeit die Ansicht, daß der symmetrische Bau der normale und eine senkrecht hebende Kraft die wirkende Ursache sei, was sich dadurch erklärt, daß gerade der Bau der Alpen der hauptsächlichste Ausgangspunkt für das Studium der Gebirgsbildung gewesen ist. Hier findet allerdings scheinbar eine ganz andre Lage der einzelnen Glieder statt; die symmetrische Anordnung der Schichtgesteine um eine zentrale kristallinische Achse tritt als der Grundzug des Baues hervor, und es ist nun die Frage, ob auch diese Verhältnisse sich mit denjenigen andrer Gebirge in Einklang bringen lassen.

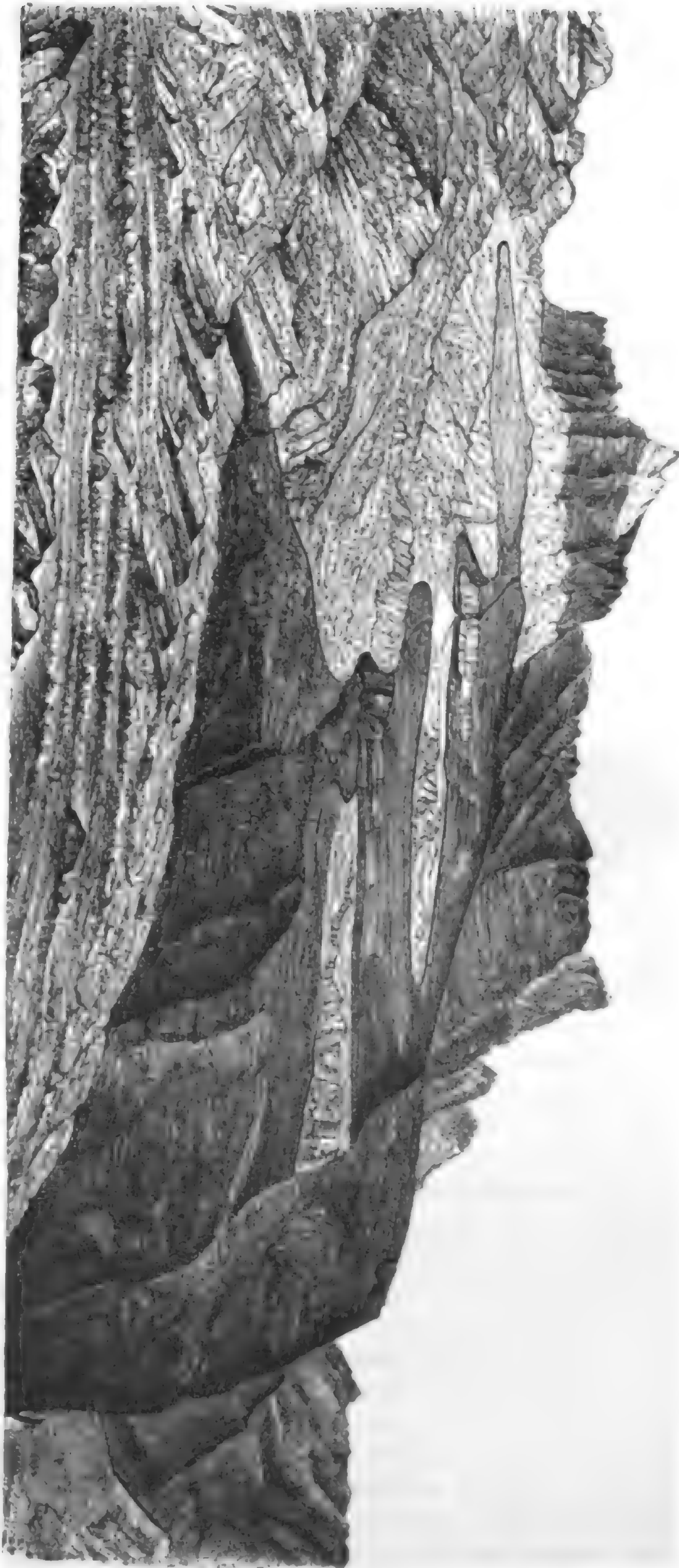
Betrachten wir zunächst die kristallinischen Gesteine der Alpen, so finden wir, daß sie ihrer Beschaffenheit nach wenig geignet sind, als hebendes Element zu gelten. In der zentralen Kette der Alpen sind Granite, welche als wahre Ausbruchsgesteine betrachtet werden können, nur wenig vertreten; die größte Rolle spielen Gneiße und gneißähnliche Gesteine (Protogin), dazu treten Glimmerschiefer, Chloritschiefer, Hornblendeschiefer, Serpentine, Marmore &c., im ganzen vorwiegend geschichtete Gesteine aus der Gruppe der kristallinischen Schiefer, denen wir eine derartige Wirkung gewiß nicht zuschreiben dürfen.

Zu demselben Resultate gelangen wir auch auf anderm Wege; wenn wir den Außenrand der Alpen verfolgen, so sehen wir denselben in einer sehr regelmäßigen geschwungenen Linie verlaufen, die sich vom Golfe von Genua bis Wien erstreckt und sich von da in den mächtigen Bogen der Karpaten fortsetzt. Dem entsprechend müßte vom Standpunkte der Hebung durch zentrale Massen aus auch diese letztere in ähnlicher Regelmäßigkeit angeordnet sein. Das ist jedoch nicht der Fall; wir haben nicht eine einheitliche Zentralzone, sondern einzelne Zentralmassen, zwischen welchen stellenweise, wie z. B. in der Gegend des Rheinthales, eine riesige Lücke von Norden her in die Reihe der kristallinischen Gesteine einspringt. Wären diese Zentralmassen thätig bei der Aufrichtung, oder läge in ihrem Gebiete überhaupt der Ausgangspunkt der Aufrichtung, so müßten solche Unregelmäßigkeiten sich auch in den äußern Ketten bemerkbar machen; aber die äußern Zonen, die sogenannten Molassen- und Sandsteinzonen, nehmen einen Verlauf, der von allen Abweichungen im Innern der Kette durchaus unabhängig und nur dann verständlich ist, wenn das ganze alpine Gebiet einer gleichmäßigen horizontalen Verschiebung unterworfen war.

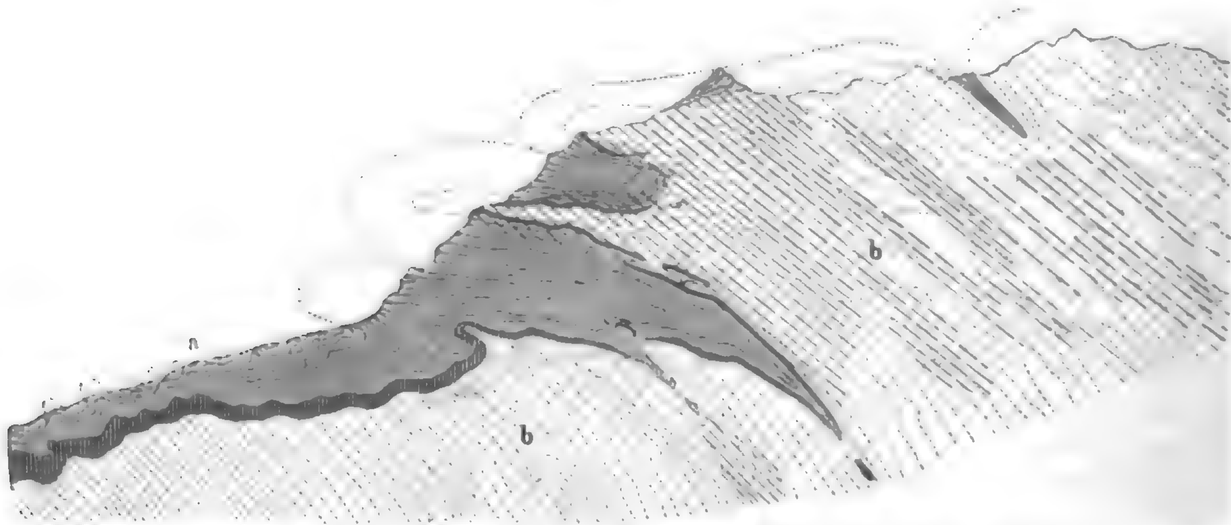
Überhaupt ist ein so ausgedehntes Faltensystem, eine so starke Zusammenschiebung, wie sie in den Nordalpen vorliegt, unmöglich aus der Seitenwirkung der emporgeschobenen Zentralmassen zu erklären. Dies lehren uns namentlich die Erscheinungen in manchen Teilen

[1] Das Juragebirge besteht aus Ablagerungen der Trias-, Jura- und Kreideformation; die Juraformation ist ein Schichtenkomplex, der in den verschiedensten Teilen der Erdoberfläche wiederkehrt und nach dem Juragebirge seinen Namen erhalten hat, da er hier in ausgezeichneter Entwickelung auftritt.

der Schweizer Alpen, wie wir sie durch Escher von der Linth, Studer, Baltzer und Heim kennen gelernt haben. Weithin im Gebiete der kristallinischen Zone finden wir dort isolierte Partien von mesozoischen Gesteinen. So krönt nach A. Favres Angaben den Gipfel der gewaltigen Aiguilles Rouges bei Chamonix eine Partie horizontal gelagerter Jurageſteine. Am Nufenenpasse, der das oberste Wallis mit dem Quellgebiete des Tessin verbindet, im Urserenthale am Fuße des Gotthard sind sie vorhanden, so daß man nicht etwa annehmen kann, eine ursprüngliche Decke sei über dem Gebiete der Zentralalpen bei der Hebung dieser nach Norden vorgeschoben worden. Betrachtet man die riesigen Falten, die nördlich von der Finsteraarhornmasse in fast unentwirrbarem Chaos sich drängen, so sieht man sofort, daß hier Schichten zusammengepreßt sind, die, wenn man sie in eine Ebene ausgebreitet denkt, wie sie es ursprünglich waren, einen weit größern Flächenraum decken würden als heute. Eine solche Zusammenpressung kann nur durch eine bedeutende Horizontalbewegung erklärt werden.


Das Gstellihorn im Urbachthale (Berner Oberland). Der Gneiß ist hell, der Kalk des obern Jura dunkel gezeichnet; die wenig mächtigen Schichten auf der Grenze zwischen beiden (mittlerer Jura, Dolomit) sind durch eine schwarze Linie angegeben. Vgl. Text, S. 322.

Merkwürdig sind in dieser Beziehung die von Baltzer eingehend geschilderten Lagerungsverhältnisse auf der Grenze zwischen dem Gneiße der Finsteraarhornmasse und den anlagernden sedimentären Gesteinen: horizontal gelagerte, keilförmige Partien von Gneiß und jurassischen Kalken greifen hier fingerförmig ineinander; an der Jungfrau, am Wetterhorn, Mettenberg, Gstellihorn und andern Bergen treten diese Erscheinungen in auffallendster Weise auf. Die Abbildung auf S. 321 gibt halbschematisch die Erscheinung wieder, wie sie am Gstellihorn zu sehen ist, und läßt das mehrfache Ineinandergreifen der heller gehaltenen Gneiße und der dunklern Kalke deutlich erkennen, während das untenstehende Profil die Art der Faltenbildung zeigt. Lange Zeit hindurch war die Erklärung dieser Erscheinung ein Rätsel, doch kann es nach der Darstellung von Baltzer nicht mehr zweifelhaft sein, daß bei der Hauptaufrichtung des Gebirges durch einen mächtigen Seitenschub Gneiß und Jurakalk in liegende Falten gebogen wurden, wie es das beistehende Profil



Schematisches Profil der „Kalkkeile" im Gneiße des Berner Oberlandes (nach Baltzer.)
a Kalk — b Gneiß.

andeutet. Ein solches Verhalten wäre unmöglich, wenn durch senkrechte Emporstoßung des Gneißes die Hebung des Gebirges veranlaßt worden wäre; der Gneiß der Zentralzone und der Jurakalk stehen vielmehr passiv einer faltenden Horizontalbewegung gegenüber, welche beide gleichmäßig in Falten legt.

Diese und andre wichtige Thatsachen im Baue der Alpen sprechen gegen eine senkrechte Hebung; es ist nun noch zu untersuchen, wie sich damit die Erscheinungen in Einklang bringen lassen, welche auf einen symmetrischen Bau hinweisen, speziell das Auftreten gleichartiger Nebenzonen von Grauwacke, Kalk und Sandstein im Norden und Süden, wie wir es oben kennen gelernt haben. Wenden wir uns der Innenseite des Gebirges, d. h. den Südalpen, zu, so finden wir, daß der Westhälfte derselben vom Lago Maggiore bis zum Golfe von Genua der symmetrische Bau überhaupt ganz fehlt, und daß hier die kristallinischen Gesteine der sogenannten Zentralkette unmittelbar an die Poebene anstoßen und gegen diese abbrechen. Erst östlich vom Lago Maggiore finden wir auch eine südliche Nebenzone, welche aber weder die Regelmäßigkeit noch die Vollständigkeit besitzt, wie sie im Norden vorhanden sind. Was vor allem auffällt, ist der Mangel eines normalen Sandstein- und Molassengürtels. Es sind nur paläozoische Ablagerungen und Kalkgebirge mesozoischen Alters in größerer Ausdehnung vorhanden, aber auch diese sind bei weitem nicht so regelmäßig ausgebildet wie in den Nordalpen, und namentlich finden sich zwischen ihnen mehrfache kleinere Aufbrüche kristallinischer Gesteine, die in den Nordalpen fehlen.

Ein zweiter Punkt von Wichtigkeit ist in den Südalpen die Ungültigkeit der Regel, daß an die zentrale Kette sich zunächst paläozoische Schichten und dann immer jüngere Sedimente nach außen hin lagern. Im Gegenteile finden wir z. B. bei Lienz im Pusterthale bei einem Durchschnitte von den kristallinischen Schiefern der Großglocknergruppe gegen Süden zuerst Lias, dann obere Trias, darauf untere Trias, paläozoische Bildungen und endlich nochmals einen Aufbruch kristallinischer Schiefer; es schließen sich also die jüngsten Ablagerungen zunächst an die Zentralkette an, die ältern folgen nach außen, während bei wirklich symmetrischem Baue der Alpen gerade das entgegengesetzte Verhalten sich zeigen müßte.

In noch weit größerm Maßstabe wiederholen sich diese Lagerungsverhältnisse auf einer langgestreckten Linie, die sich von Sillian im Pusterthale bis weithin nach Kärnten und Krain verfolgen läßt, so daß das Gebirge in seinem geologischen Baue viel mehr den Charakter mehrerer selbständiger Ketten als den einer normalen Nebenzone trägt. Sueß hat daher wohl mit Recht die Auffassung vertreten, daß die Südalpen eine Anzahl nach Norden vorgeschobener, einseitiger Ketten darstellen, die sich dicht an die Hauptkette anlegen. Es mag gewagt erscheinen, ein sich in seiner Physiognomie ziemlich einheitlich darstellendes Gebirge wie die Alpen, in eine Anzahl aneinander gedrängter, einseitiger Ketten zerlegen zu wollen; doch erhalten wir eine sehr wichtige und geradezu entscheidende Bestätigung dieser Auffassung, wenn wir die Fortsetzung des Alpensystemes gegen Osten betrachten. Verfolgen wir nämlich den Außenrand der Alpen in seinem bogigen Verlaufe, so sehen wir, daß die Grenze durch eine Anzahl alter Massengebirge gegeben ist, die als feste Pfeiler des Erdgerüstes stehen geblieben sind, und an welchen sich die Falten des jungen Kettengebirges stauen. Das Massiv der Hyèrischen Inseln, das Zentralplateau von Frankreich, die Granite von Dôle, die Vogesen, der Schwarzwald und die gewaltige böhmische Masse sind die Marksteine, bis zu denen die Faltung reicht. Wo das Zentralplateau, die Vogesen und der Schwarzwald verhältnismäßig weit zurückweichen, schiebt sich nordwestlich von der Molassenzone das gefaltete Juragebirge ein. Hart pressen sich dagegen die alpinen Falten an den Südrand der böhmischen Masse, wo diese etwa in der Mitte zwischen Linz und Wien, auf der Linie Grein-Mölk die Donau übersetzend, nach Süden vorspringt. Dieselbe macht in auffallenden Störungen des Baues ihren hemmenden Einfluß bis weit in die Alpen hinein bemerkbar. Etwas westlich von Wien, in der Gegend von St. Pölten, tritt die böhmische Masse zurück; eine von Südsüdwesten nach Nordnordosten verlaufende Linie, welche durch die Städte St. Pölten in Niederösterreich und Znaim in Mähren fixiert werden mag, bezeichnet ihre Grenze. Sofort macht sich diese Änderung in der auffallendsten Weise in der Richtung der Nordalpen bemerkbar, indem ihr bisher genau ostwestliches Streichen in ein südwest-nordöstliches überschwenkt und schon die Richtung der Karpaten annimmt, welche diese bis in die Gegend von Bielitz in Schlesien beibehalten.

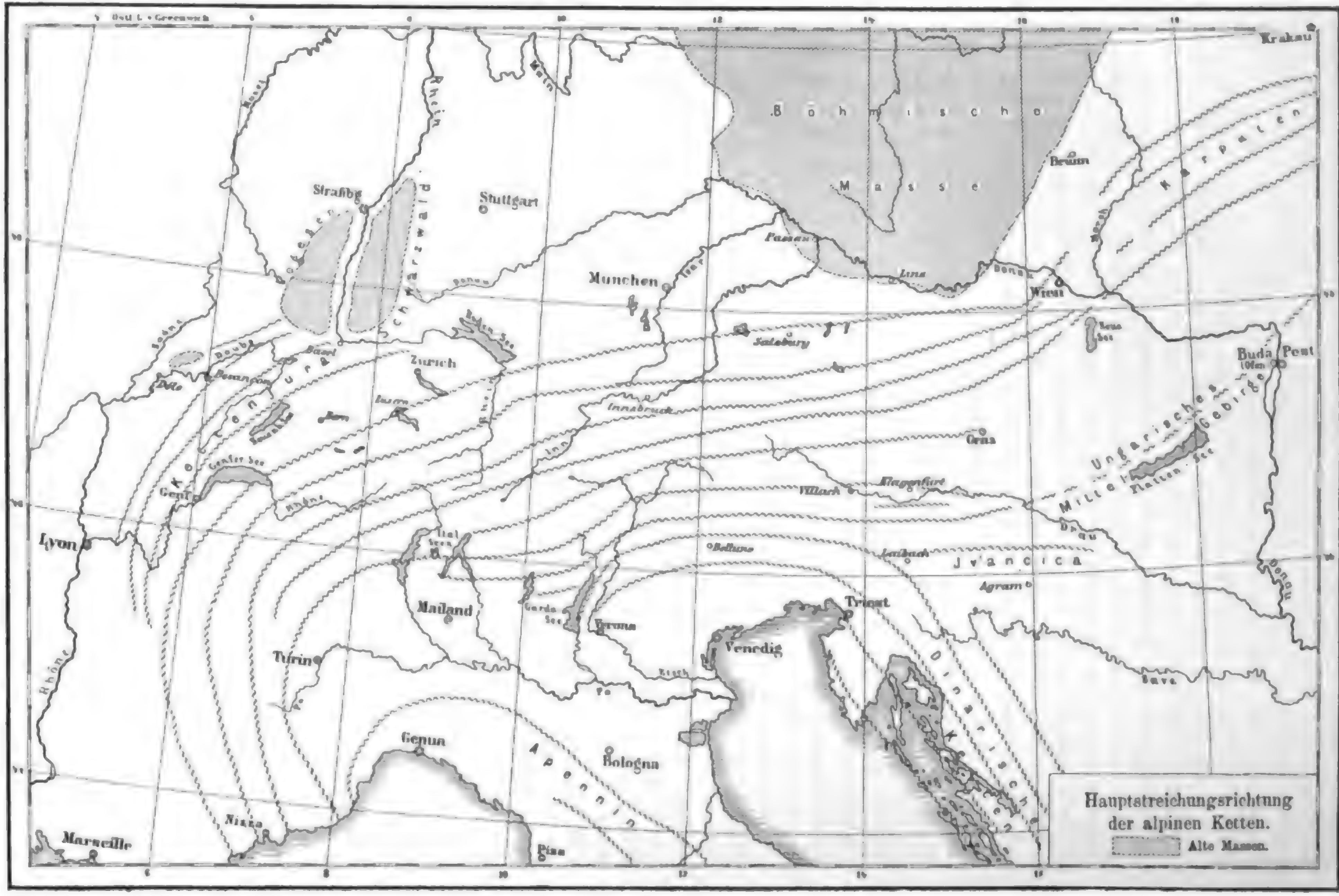
Die weitere Verfolgung der alpinen Ketten gegen Osten erfordert einige Aufmerksamkeit, da sehr große Störungen des Baues auftreten: eine Reihe gewaltiger Brüche schneidet hier plötzlich die Alpen ab, die Fortsetzung derselben nach Osten ist in die Tiefe gesunken, und nur die obersten Partien, gleichsam die Kämme und Gipfel eines unterirdischen Gebirges, ragen aus den jüngern Gebilden des Tieflandes empor. Der Abbruch findet nicht längs einer geraden Spalte, sondern durch drei von Norden nach Süden aufeinander folgende, kreisförmig einspringende Senkungsfelder, sogenannte „Kesselbrüche“, statt. Der erste derselben beginnt an der Donau bei Wien, er schneidet in einer ziemlich geraden, von Wien bis Gloggnitz am Fuße des Semmering verlaufenden Linie, die vom Auftreten warmer Quellen begleitet ist, die äußern Zonen der Nordalpen ab und reicht bis an die kristallinische Kette; gegen Süden ist dieses Gebiet durch die im Rosaliengebirge bei Wiener-Neustadt endende Fortsetzung der Zentralkette begrenzt. Der Umriß des zweiten Senkungsfeldes ist

durch das Leithagebirge im Norden, die Berge von Landsee im Westen, diejenigen von Güns im Süden bezeichnet; der dritte jener Kesselbrüche endlich ist die weite Bucht, die von Güns bis Graz vorspringt und im Süden sich bis zum Bachergebirge bei Marburg an der Drau erstreckt.

Versuchen wir nun, die Fortsetzung der alpinen Züge über diese Grenze hinaus zu verfolgen. Jenseit der Donau ist die alpine Sandsteinzone des Wiener Waldes in dem Zuge des Bisamberges fortgesetzt, dann folgt eine Lücke von etwa 24 km, in welcher wir jungtertiäres Hügelland treffen; bei Nikolsburg in Mähren aber tritt uns schon mit ganz übereinstimmender Streichungsrichtung die Sandsteinzone der Karpaten entgegen, welche die genaue Fortsetzung der alpinen Sandsteinzone, wenn auch in weit großartigern Verhältnissen, darstellt. Könnte noch ein Zweifel an der Zusammengehörigkeit beider herrschen, so würde derselbe zerstreut durch das eigentümliche Auftreten der mächtigen Kuppen von Jurakalk, der sogenannten Inselberge, welche auf einer Linie bei Ernstbrunn, Falkenstein, Staatz, Nikolsburg ꝛc. aus dem zwischen den Enden der Alpen und Karpaten gelegenen Hügellande aufragen. Das Auftreten dieser isolierten Partien von Jurakalk, der „Klippen", bildet eine der bemerkenswertesten Eigentümlichkeiten der karpatischen Sandsteinzone, sie sind als Zeugen der ehemaligen Verbindung in der Lücke zwischen den beiden großen Gebirgen stehen geblieben, während die weichern Sandsteine zerstört wurden.

Ebenso deutlich läßt sich die Zentralkette der Alpen in ihrem Verlaufe verfolgen. Wie schon erwähnt wurde, setzt sich dieselbe südlich von dem Wiener Kesselbruche in einem spornartigen Ausläufer, dem Rosaliengebirge bei Wiener-Neustadt, fort; dann folgt eine kaum mehr als 12 km betragende Unterbrechung durch die Niederung von Pötsching, jenseit welcher sich das Leithagebirge erhebt, dessen Schiefergesteine in Beschaffenheit und Richtung durchaus jenen des Rosaliengebirges entsprechen. Sie bilden die Verbindung mit den Ausläufern der Kleinen Karpaten, die bei Preßburg über die Donau setzen und von dem Leithagebirge nur durch die Niederung von Bruck getrennt sind. Auch Reste der Kalkzone sind am Nordrande des Leithagebirges erhalten und zeigen die Verbindung des nordalpinen Kalkzuges mit jenem der Karpaten an.

Andre Teile der Alpen setzen sich nicht in die Karpaten fort, so daß dieses letztere, ausgezeichnet einseitig gebaute Gebirge die unmittelbare Fortsetzung der Zentralkette und der nördlichen Nebenzonen der Alpen darstellt, während hier von einer südlichen Nebenzone nichts zu sehen ist. Schon hierdurch erhält die Annahme, daß die Südalpen selbständige Ketten, nicht die Nebenzone eines symmetrischen Gebirges darstellen, festen Halt. Aber wir können noch weiter gehen und die durchaus abweichende Fortsetzung einzelner südalpiner Zonen in Ungarn und am Westrande der Balkanhalbinsel nachweisen. Einen Gebirgszug, dessen Beziehungen zum Alpensysteme namentlich von Hauer und Sueß eingehend besprochen worden sind, stellt das sogenannte ungarische Mittelgebirge dar. In nordwest-südöstlicher Richtung verläuft dasselbe längs des ganzen Nordwestrandes des Plattensees und setzt sich von da, allerdings von den Bildungen der Ebene vielfach unterbrochen und stellenweise bedeckt, bis an die Donau bei Ofen und Gran und auch noch jenseits bis in die Gegend von Zemplin fort. Hierher gehören vor allem der Bakonyer Wald, das Vertesgebirge, das Graner und Ofener Gebirge, ein Zug von durchaus einseitigem, nach Norden gerichtetem Baue, welcher die Fortsetzung der nördlichsten Kette der Südalpen bildet, jener Berge, die nördlich von Cilli in Steiermark an das Hügelland herantreten. In großer Deutlichkeit, wenn auch nicht auf sehr weite Erstreckung, läßt sich ein dritter Zweig verfolgen, welcher sich an die Berge südlich von Cilli anschließt und als ein langgestreckter Zug von Triasgesteinen bis in die Gegend südlich von Warasdin in Kroatien, das Ivancicagebirge bildend, in genau westöstlicher Richtung hinstreicht. Ein vierter


Hauptstreichungsrichtung
der alpinen Ketten.
Alte Massen.
Böhmische Masse
Karpaten
Krakau
Brünn
Wien
Buda Pest
Straßbg
Stuttgart
Schwarzwald
München
Passau
Linz
Salzburg
Innsbruck
Zürich
Genf
Lyon
Jura
Kette
Bern
Genfer See
Mailand
Turin
Verona
Venedig
Triest
Belluno
Villach
Klagenfurt
Laibach
Agram
Graz
Jvancica
Ungarisches Mittel Gebirge
Dinarische Ketten
Apennin
Genua
Bologna
Pisa
Nizza
Marseille
Rhône
Rhein
Donau
Save
Plattensee
Bodensee
Gardasee

Zweig endlich, bedeutender als die beiden vorhergehenden und selbst die Karpaten an Erstreckung übertreffend, schlägt die Richtung nach Südosten ein. In diese Direktion schwenken bei Laibach in Krain die südlichsten Zonen der Alpen um, und ihre ununterbrochene Fortsetzung bilden die Falten des österreichischen Küstenlandes, die Dinarischen Alpen, das ganze Faltensystem des westbosnisch-dalmatischen Gebietes. Weiterhin nach Süden ziehen sie, wie es scheint, ununterbrochen durch ganz Albanien, bilden den Pindus auf der Grenze zwischen Thessalien und Epirus, die Ätolischen Alpen in Griechenland und setzen sich in den Bergen des Peloponnes fort, bis am Ende des Zuges, an der Südspitze Griechenlands am Kap Matapan, ihr äußerstes Ende unter die blauen Fluten des Mittelländischen Meeres versinkt.

An seinem östlichen Ende löst sich also das geschlossene Alpengebirge in vier einseitige Gebirge auf, welche fächerförmig nach verschiedenen Richtungen ausstrahlen. Das nördlichste von diesen, die große Kette der Karpaten, entspricht der kristallinischen Zone und dem nördlichen Kalk- und Sandsteingürtel, während das ungarische Mittelgebirge, das Ivancicagebirge und das System der Dinara und des Pindus zusammen den einzelnen Teilen der Südalpen entsprechen. Dieses Verhalten beweist, daß die Alpen kein symmetrisches Gebirge sind, sondern daß die südliche Nebenzone aus der Aneinanderdrängung mehrerer selbständiger Ketten entstanden ist. Besonders klar tritt dies hervor, wenn man nicht, wie es gewöhnlich geschieht, die Alpen als Ausgangspunkt nimmt, sondern sich umgekehrt vergegenwärtigt, daß im südöstlichen Europa eine Reihe selbständiger Gebirge verläuft, deren Richtungen zwischen der nordost-südwestlichen und der südost-nordwestlichen liegen und alle auf einen Punkt südlich von der großen böhmischen Masse konvergieren. Von da an, wo sie durch ihr Zusammentreffen gehindert sind, ihre Sonderrichtungen einzeln zu verfolgen, verlaufen sie parallel, zu dicht gedrängtem Bündel „geschart", ohne aber deshalb ihre Selbständigkeit zu verlieren.

So sehen wir, daß auch die Alpen bei genauem Studium die Annahme einer Entstehung durch senkrechte Hebung nicht zulassen und nicht symmetrisch gebaut sind, obwohl gerade sie durch ihre merkwürdigen Eigentümlichkeiten vor allen andern Gebirgen die Meinung veranlaßt hatten, daß Symmetrie die Regel sei. Damit fällt die wesentlichste Schwierigkeit weg, welche gegen die Annahme eines horizontalen Schubes als die Ursache der Gebirgsaufrichtung erhoben werden konnte, so daß wir uns dieser Hypothese anschließen dürfen.

Senkungsgebiete.

Natürlich ist die horizontale Zusammenschiebung nicht die einzige Art der Bewegung in der Erdfeste. Schon früher wurde erwähnt, daß eine große Gruppe von Erscheinungen, in erster Linie die Verwerfungen, das Absinken von Schollen der Erdmasse an Brüchen, auf eine senkrecht wirkende Kraft hinweisen, als welche wir bloß das Gewicht, die eigne Masse der abwärts gleitenden Teile bezeichnen können.

Beiderlei Vorgänge, die Zusammenschiebung und die Senkung, stehen im innigsten Zusammenhange. Wie wir früher gesehen haben, kommen zwischen Verwerfung und Faltenbildung häufig Zwischenglieder vor, und nicht selten tritt der Fall ein, daß sich eine und dieselbe Störungslinie in einem Teile ihres Verlaufes als Falte, in einem andern als Bruch geltend macht. Überhaupt wäre es ein großer Irrtum, wenn man glaubte, daß die Kettengebirge nur durch Faltung entstanden seien; mag auch diese den vorwiegenden und augenfälligsten Faktor bilden, so treten doch auch überall Brüche hervor, welche sehr wesentlichen Anteil an der Gestaltung nehmen. Dabei ist je nach der Richtung, welche

die Spalten zur Streichung der Schichten und der Falten einnehmen, ein Unterschied zwischen verschiedenen Arten der Spalten zu machen. Es sind die beiden großen Gruppen der Längsbrüche, welche der Richtung der Schichten mehr oder weniger parallel laufen, und der Querbrüche, welche diese mehr oder weniger senkrecht kreuzen. Die Linie, die vom Alpenrande bei Wien nach Süden bis Gloggnitz, an dem Fuße des Semmering das Wiener Becken begrenzend, einspringt und die Alpen plötzlich gegen Osten abschneidet, stellt z. B. einen ausgezeichneten Querbruch dar, an dem eine mächtige Scholle des Gebirges abgesunken ist, während die südöstliche Begrenzung des Wiener Beckens auf der Linie von Gloggnitz bis zum Ende des Rosaliengebirges einem Längsbruche entspricht.

Während der Bau dieser Gebiete wesentlich von der Faltung beherrscht wird und die Spalten nur eine untergeordnete Rolle als Begleiterscheinungen spielen, ist das Aussehen solcher Gegenden, welche ganz oder zum größten Teile ihre Gestaltung durch Bewegungen an Brüchen erhalten haben, außerordentlich mannigfaltig. Schon im Anfange dieses Kapitels haben wir den Schwarzwald als den Typus einer eigenartigen Gruppe von Gebirgen kennen gelernt. Er besteht aus einem stehen gebliebenen Pfeiler alten Gesteines, von Graniten, Gneißen und andern kristallinischen Schiefern, von dem zu beiden Seiten das Land an mächtigen Spalten abgesunken ist, und zwar setzen die Seitenteile in mehrfach stufenförmig aufeinander folgenden Verwerfungen zur Tiefe nieder. So sehen wir auf einer ersten Stufe an der Hornisgrinde den Buntsandstein noch in 1151 m Meereshöhe liegen und von da parallele Verwerfungen verlaufen, an deren jeder der vom Gebirge weiter abliegenden Flügel etwas weiter abgesunken ist. Die Untersuchungen von Benecke, Bleicher, Deffner, Fraas, Gümbel haben hier und an einigen benachbarten Massengebirgen die Verhältnisse klargelegt, und Sueß hat neuerdings gezeigt, wie durch diese Vorgänge das den Alpen nördlich vorlagernde Gebiet sich geformt hat. Ursprünglich müssen wir uns das weite Gebiet vom Zentralplateau von Frankreich bis zur böhmischen Masse als ein zusammenhängendes Plateau vorstellen, mit mächtigen Sedimentmassen, welche das alte kristallinische Grundgebirge bedeckten. In diesem weiten Tafellande bildete sich ein mächtiges System von Sprüngen, an denen Senkungen stattfanden, und zwar war die Lage derselben so, daß eine Reihe fester Pfeiler, die böhmische Masse, der Schwarzwald, die Vogesen, das Zentralplateau von Frankreich, stehen blieben, während zwischen diesen „Horsten" die übrigen Teile stufenförmig in die Tiefe sanken. Auf den höchstgelegenen Partien wirkte aus Gründen, die wir später kennen lernen werden, die Erosion, die zerstörende Wirkung des rinnenden und sickernden Wassers, des Frostes, am stärksten und trug die ganze Decke der Schichtgesteine ab. An etwas tiefer gelegenen Partien blieben die ältesten Sedimente, z. B. der Buntsandstein der Hornisgrinde, liegen, und immer jüngere Schichten erhielten sich als unversehrte Decke, je tiefer die betreffenden Partien abgesunken waren.

So bietet sich in dem weiten Raume vom Zentrum Frankreichs bis Böhmen das Bild einer Gegend, die, seit Äonen von Faltenbildung unberührt, nur durch Bruchbildung und Abwitterung modelliert ist; sie thut aber auch in überraschender Klarheit und in vollem Umfange dar, wie tiefgreifende Massenbewegungen in scheinbar kaum gestörten Gegenden Platz gegriffen haben, so daß, wie von Dechen sich ausdrückt, „die Erdrinde sich in einem wahren Zustande von Zerstückelung befindet".

Anders geartete, aber ebenfalls auf dem Absinken großer Landschollen an Verwerfungen beruhende Erscheinungen zeigen sich an der Innenseite eines großen Teiles der Kettengebirge. Wie wir gesehen haben, sind diese einseitig gebaut, und häufig ist die Innenseite, von welcher der Horizontalschub ausgeht, steil abgebrochen; an diesen Bruch schließt sich dann in der Regel ein großes Senkungsfeld an, eine Tiefebene, ein Binnensee oder ein Meeresbecken, in welchem die Masse in die Tiefe geglitten ist und meist thätige oder erloschene

Vulkane auftreten. Solche Senkungsfelder sind am Südfuße der Alpen die Poebene mit den Basalten des Gebietes von Vicenza und Verona und den Trachyten der Euganeen, die ungarische Tiefebene mit ihren riesigen Trachytmassen am Südfuße der Karpaten und das Tyrrhenische Meer mit den italienischen Vulkanen am Innenrande des Apennin.

Bisweilen mögen in diesen Senkungsfeldern die Massen an einer gewaltigen, ziemlich einfachen Spalte dem Gebirgsrande entlang abgesunken sein, häufiger aber scheint diese Erscheinung in eine Reihe von Einzelvorgängen zu zerfallen, wie das sehr klar im Baue der Westküste Italiens hervortritt. Dabei dürfen wir jedoch nicht den heutigen Umriß des Landes ins Auge fassen, sondern müssen uns die jungen vulkanischen Bildungen und Anschwemmungen hinwegdenken. Es ergibt sich dann, daß zwar der Verlauf der Senkung in den allergröbsten Umrissen der Achse des Gebirges annähernd parallel ist, daß es sich aber nicht um einen einheitlichen geologischen Vorgang handelt; vielmehr gibt es eine Reihe kleinerer Senkungsgebiete, welche kreisförmig oder elliptisch in die ältern Massen eindringen und zwischen sich oft weit vorspringende Sporen des aufgerichteten Gebirges als stehen gebliebene Pfeiler einschließen. Die toscanische Niederung, die römische Campagna, der Golf von Gaeta, die Bucht von Neapel mit ihrer vulkanischen Umgebung, die Golfe von Salerno, von Policastro, Sant' Eufemia und Gioca stellen die einzelnen Senkungsfelder dar, welche aneinander gereiht sind. Wir haben es hier mit einer eigentümlichen Art von Erscheinungen, mit sogenannten Kesselbrüchen, zu thun, welche außerordentlich verbreitet sind und eine große Rolle spielen. Zwar treten sie vereinzelt auch in Gegenden mit vorwiegend horizontal gelagerten Schichten auf, wie z. B. der Rieskessel um Nördlingen auf der Grenze zwischen Bayern und Württemberg; aber der Hauptsache nach sind sie doch auf die Gebiete der Kettengebirge beschränkt. Der Prättigau, die Ebene von Salzburg sind in dieser Weise gebildet, am Ostrande der Alpen haben wir schon drei solcher Kessel kennen gelernt: die Buchten von Wien, von Landsee und von Graz; dieselbe Bildung treffen wir am Kessel von Hirschberg im Riesengebirge an, am meisten ist aber in unserm Erdteile der äußerste Südosten durch eminente Kesselbrüche ausgezeichnet, und es mag gestattet sein, diese Region, von der ich manche Teile eingehender zu untersuchen Gelegenheit hatte, zum Ausgangspunkte zu nehmen, um das Wesen dieser Erscheinungen zu schildern.

Zahllose Inseln liegen zerstreut in dem herrlichen Meere zwischen Griechenland und der kleinasiatischen Küste, aber nicht ganz regellos ist ihre Verteilung im Archipel. Während eine Zahl derselben sich unmittelbar den Festlandsküsten anschließt, streichen andre, zu Reihen angeordnet, quer über die Breite des Meeres und bilden eine Art untermeerischen Gebirges zwischen Griechenland und Kleinasien, von dem nur die Häupter als Inseln über den Wasserspiegel hervorragen. Ein Blick auf die erste beste Karte zeigt unverkennbar, daß die Cykladischen Inseln, mit Andros und Zia beginnend, sich an die Küste von Attika und Euböa anschließen, während auf der andern Seite die Inseln Kos, Nisyros, Kalymnos 2c. die Verbindung mit dem kleinasiatischen Festlande vermitteln. Durch diesen Zug der Cykladen wird das ganze Ägeische Meer in zwei Becken geteilt, von welchen hier das südliche etwas näher ins Auge gefaßt werden mag. Im Süden hängt dasselbe nicht in voller Breite mit dem offenen Mittelmeere zusammen, sondern Kreta legt sich mit seiner breiten Gestalt zwischen beide, Cerigo, Cerigotto, Karpatho und Rhodus reihen sich an dessen beiden Enden an, so daß nur eine Anzahl von Wasserstraßen in dieses Becken führen. In der Mitte desselben erreicht das Meer die verhältnismäßig sehr große Tiefe von 1200 Faden, während südlich von Kreta im offenen Mittelmeere der Boden noch tiefer liegt.

Dieses südägeische Becken bietet uns das Bild eines ganz jungen Kesselbruches. Betrachten wir zuerst Kreta. Diese gebirgige Insel, die heute ziemlich wasserarm ist, hat in ihrem Innern trockne Hochebenen, mit jungen Geröllschichten bedeckt, in welchen man

in großer Menge die Knochen einer Art von Hippopotamus, nahe verwandt mit dem gewaltigen Nilpferde der Ströme und Seen Afrikas, gefunden hat. Aus diesem Vorkommen kann man mit Sicherheit folgern, daß diese Hochebenen in der Diluvialzeit unter Wasser gewesen sind, und daß die Insel ein mächtiges System von Wasserflächen, Seen oder Strömen besessen haben muß, wie es für die Existenz jener Tiere notwendig ist. Dieser Zustand war aber nur dann möglich, wenn das heutige Kreta damals noch ein Teil einer weit größern, heute verschwundenen Landmasse war. Ferner stehen auf Kreta, Rhodus, Kos und andern Inseln junge Süßwasserbildungen dicht an der Küste des Meeres an Stellen an, wo dieses ganz nahe am Strande in sehr große Tiefen absinkt; es ist also das ehemalige Ufer der Süßwasserseen, welches diese vom Meere trennte, in die Tiefe gesunken. An der Südostküste von Kos treten sehr jungpliocäne und diluviale Meeresablagerungen in großer Mächtigkeit auf, welche Hügel bis zu einer Höhe von 200 m bilden; am Fuße derselben stürzt der Meeresboden sehr steil, stellenweise unter einem Winkel von 45°, in gewaltige Tiefen ab. Dieser Steilrand kann nur durch ein Absinken an einer Verwerfungsspalte erfolgt sein, welche erst nach der Ablagerung der diluvialen Meeresschichten stattfand, denn sonst hätten die sich ablagernden massenhaften Sedimente eine Milderung des untermeerischen Steilabsturzes bedingen und eine sanftere Böschung erzeugen müssen. Nun bildet aber die Bruchlinie, welche am Südrande von Kos verläuft, nicht eine Erscheinung für sich, sondern sie ist nur ein Teil jener gewaltigen Spalte, welche die nördliche Begrenzung des südägeischen Beckens bildet. Überhaupt läßt sich durch eine genaue Beobachtung nachweisen, daß dieses ganze Gebiet von einem wahren Netzwerke von Bruchlinien durchzogen ist, an welchen die ganze ehemals vorhandene Landmasse zwischen Kreta, den Cykladen, Kleinasien und Morea in die Tiefe brach. Das Vorhandensein diluvialer Hippopotamen auf Kreta, die Verhältnisse auf Kos lassen erkennen, daß diese Senkung erst nach Abschluß der Tertiärperiode stattfand, zu einer Zeit, in welcher das Menschengeschlecht schon existierte, und der Prähistoriker wird daher die Frage in ernstliche Erwägung ziehen müssen, ob die erste Besiedelung Griechenlands mit Ureinwohnern nicht unmittelbar von Kleinasien aus über diese nun verschwundene Festlandsbrücke stattgefunden hat.

Die erwähnten Fälle sind aber durchaus nicht die Gesamtheit dessen, was sich im Gebiete des Mittelmeeres in verhältnismäßig neuer Zeit durch Landverlust verändert hat. Die umstehende Karte stellt nach Anhaltspunkten, die hier zu erörtern uns zu weit ablenken würde, die mutmaßliche Verteilung von Wasser und Land zu Beginn der Pliocänzeit (des jüngsten der vier Hauptabschnitte der Tertiärformation) dar. Die Grenzen des Festlandes sind zwar im einzelnen hypothetisch gezogen, aber in der Hauptsache beruhen die Grundlinien auf bestimmter Deutung beobachteter Thatsachen. Nach der ganzen Gestaltung kann man mit Sicherheit behaupten, daß von dem riesigen Verluste an Land nur ein verschwindend kleiner Teil durch Erosion zerstört worden, der größte aber an Bruchlinien unter das Meeresniveau hinabgeglitten ist.

Malta und Sizilien hingen mit Afrika zusammen, wie das namentlich aus dem Vorkommen von Resten des afrikanischen Elefanten und andrer äthiopischer Säugetiere auf beiden Inseln hervorgeht. An der Ostseite des Apennin hatte das Meer größere Ausdehnung als heute, während der östliche Teil der heutigen Adria trocken lag und der Monte Gargano in Unteritalien noch mit Dalmatien zusammenhing. Der Meeresteil zwischen den Ionischen Inseln und dem griechischen Festlande existierte noch nicht, und von dem ganzen Griechischen Archipel war nur eine kleine Bucht vorhanden, die zwischen Kreta und dem Peloponnes bis in die Gegend von Athen und Megara reichte. Weder die heutige Südseite von Kreta noch jene Kleinasiens war vom Meere bespült, und nirgends erreichte dasselbe die heutige Küste von Nordafrika, Palästina oder Syrien; ein Meeresarm erstreckte sich allerdings nach



Karte des östlichen Mittelmeeres zur ältern Pliocänzeit.

Osten, wie es das Vorkommen pliocäner Meeresbildungen auf der Insel Cypern beweist, doch kann er keine große Ausdehnung gehabt haben.

Wenn wir dieses außerordentlich große Areal berücksichtigen, wenn wir bedenken, daß der Meeresspiegel damals sehr viel höher stand als heute, und daß jetzt in dieser Region stellenweise Meerestiefen von mehr als 10,000 Fuß vorhanden sind, so ergibt sich diese Massenbewegung (der Betrag der Senkung) als eine ganz riesige und das, was die Gebirgsbildung dort in demselben Zeitraume geleistet hat, dagegen als recht bescheiden. Überhaupt spricht eine Reihe von Erwägungen dafür, daß die Senkung an Bruchlinien der große Hauptfaktor in der Veränderung der Erdoberfläche ist, dem gegenüber die Faltung und Aufrichtung der Gebirge durch Horizontalbewegung sich nur als eine Nebenerscheinung darstellt. Aber nicht nur die unmittelbar von der Senkung betroffene Region wird von diesen gewaltigen Vorgängen beeinflußt, sondern auch am Meeresspiegel gehen durch sie Veränderungen vor: die entstandenen Tiefungen werden vom Meere überflutet, und so gewaltig auch die Wassermasse des Ozeanes ist, so muß doch das Abströmen des Wassers in das große, neugebildete Becken, wie Sueß gezeigt hat, schon einen merkbaren Einfluß ausüben und ein allgemeines, wenn auch nicht bedeutendes Sinken des Meeresspiegels auf der gesamten Erdoberfläche bedingen.

Gewiß werden erweiterte Studien noch eine große Zahl solcher Kesselbrüche erkennen lassen; vorläufig können wir noch als eminente Kesselbrüche die von Festoninseln umgebenen Meeresteile Ostasiens anführen. Das Japanische, das Ochotskische, das Beringsmeer sind vortreffliche Beispiele, und mehrere solcher lassen sich im weiten Bereiche der malayischen Inselwelt konstatieren, obwohl es kaum zulässig ist, unter den komplizierten Verhältnissen, die dort herrschen, die einzelnen Linien ohne Studien an Ort und Stelle nur aus der Landkarte zu entziffern. Endlich stellt im Gebiete des Atlantischen Ozeanes das Karibische Meer zwischen Zentralamerika im Westen, der südamerikanischen Nordküste im Süden und der Inselreihe der Antillen im Norden und Osten einen großen Kesselbruch dar.

Eine eigentümliche Art weitverbreiteter Senkungsvorgänge stellen endlich die sogenannten Grabenversenkungen dar, bei welchen zwischen zwei parallel zu einander verlaufenden Bruchlinien ein verhältnismäßig langer, schmaler Streifen Landes versunken ist. Das Rheinthal zwischen Schwarzwald und Vogesen, das Leinethal bei Göttingen, das Rote Meer, das Thal des Jordans und des Toten Meeres, vermutlich auch der Tanganikasee in Zentralafrika sind Beispiele dieser Erscheinung.

Wesen der Gebirgsbildung.

Die zahlreichen und großartigen Erscheinungen, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, lassen sich auf zweierlei Arten von Kräften zurückführen: auf solche, welche senkrecht nach unten, und auf solche, die ganz oder nahezu horizontal wirken. Welcher Art aber diese Kräfte sind, und durch welche Vorgänge in den Erdmassen sie bedingt werden, das ist die Frage, zu deren Besprechung wir uns nun wenden müssen. Ehe wir näher auf den Gegenstand eingehen, mag es gestattet sein, daran zu erinnern, daß alle die Erscheinungen der Gebirgsbildung, so großartig sie dem Maßstabe unsrer Sinne sich darstellen, doch in Wahrheit äußerst geringfügig sind im Vergleiche zur Masse der Erde. Nur wenige Gipfel der allerhöchsten Gebirge erheben sich zu einer Höhe von mehr als 7000 m über das Meeresniveau, sehr wenige übersteigen 8000 m. Da nun der Durchmesser der Erde ungefähr 12,734,5 km beträgt, so erreicht der höchste bis jetzt gemessene Berg, der 8839 m hohe Gaurisankar, nur $^1/_{1440}$ dieser Größe; 7000 m ist nur $^1/_{1819}$, während die Erhebung unsers höchsten

Alpengipfels, des Montblanc, mit 4804 m nur 1/2650 des Erddurchmessers beträgt. Es sind also Auftreibungen der Oberfläche, die verhältnismäßig noch lange nicht so bedeutend sind wie die Runzeln auf der Schale einer Apfelsine.

Als einen zweiten Gegenstand von Wichtigkeit müssen wir im Auge behalten, daß die Faltung der Gebirge nach ihrem ganzen Wesen ein Vorgang sein muß, der nicht weit in die Tiefe reicht, sondern nur die oberflächlichen Partien der Erdrinde betrifft. Es genügt wohl, ein naturgemäß gezeichnetes Gebirgsprofil zu betrachten, d. h. einen Durchschnitt, in welchem Höhe und Horizontalentfernung in richtigen Verhältnissen gezeichnet sind, um sich zu überzeugen, daß diese Wellen nicht weit nach abwärts dringen können.

Daß das Einsinken an Spalten, die Bildung von Senkungsfeldern und Verwerfungen lediglich unter der Einwirkung der Schwere vor sich geht, daß außer dieser kein aktiver Zug in die Tiefe vorhanden ist, bedarf kaum einer eingehenden Erörterung; damit jedoch eine Senkung stattfinden kann, muß die betreffende Scholle der Unterlage entbehren, es muß eine Zusammenziehung im Innern stattfinden. Die Faltenbildung ihrerseits stellt ein Zusammenschrumpfen der Oberfläche auf kleinerm Raume dar, eine Zusammenschiebung, welche sich am besten unter der Voraussetzung erklärt, daß die tiefern Teile der Erde sich zusammenziehen, die äußern Partien dagegen annähernd ihre alte Ausdehnung behalten und sich nun falten müssen, um sich dem verminderten Volumen ihrer Unterlage anzuschmiegen. Es geht daraus hervor, daß man nicht etwa in irgend einem Teile der Oberfläche eine aktiv nach vorwärts schiebende Kraft suchen darf, sondern auch hier nur den Zug in die Tiefe, die Schwerkraft, in Betracht ziehen muß, die aber, wie in einem Kuppelgewölbe, als welches wir die Teile der Erdrinde auffassen müssen, in horizontalen Seitendruck umgesetzt wird, denn in einem flachen Kuppelbaue lastet ein mächtiger Seitendruck auf den Pfeilern, obwohl nur die senkrecht wirkende Last der Gewölbesteine zu tragen ist. Wir können also für Faltung oder Überschiebung wie für Senkung eine einheitliche Ursache, die Wirkung der Schwere, annehmen, die je nach den örtlichen Verhältnissen in der einen oder andern Form zur Geltung kommt; wir müssen nun untersuchen, ob die thatsächlichen Verhältnisse einer solchen einfachen Erklärung entsprechen.

Die erste Bedingung für die Ausübung einer dieser Schwerewirkungen ist natürlich die, daß den oberflächlichen Partien der Erde die Unterlage entzogen werde. Auf welche Weise dies geschieht, ist eine zweite Frage, die von verschiedenen Seiten verschieden beantwortet wird. Man hat versucht, lediglich dem Wasser diese Rolle zuzuschreiben, indem man annahm, daß dieses bei der Zirkulation in der Tiefe fortwährend Stoffe auflöst und auf diese Weise unterirdische Hohlräume erzeugt, in welche Schollen der Oberfläche nachsinken; daß letztere dann, indem sie immer tiefer sinken, von den Rändern der Versenkung einen Seitendruck erleiden und auf diese Weise unter Umständen gefaltet werden. Eine solche Erklärung der Entstehung der Kettengebirge ist jedoch unhaltbar. Es müßten nach dieser Hypothese die Gebirge vertieft zwischen erhöhten flachen Hochländern liegen, und es wäre z. B. im Hinblicke auf die Alpen absolut unverständlich, wie dieses hoch über seine ganze Umgebung emporragende Gebirge eine Versenkung darstellen soll.

Somit bleibt nur die eine Annahme übrig, daß alle die erwähnten Wirkungen lediglich durch die allmähliche Abkühlung der Erde hervorgebracht werden. Wir wissen, daß unser Planet in früher Vorzeit eine geschmolzene Masse war, die durch Erkaltung allmählich erstarrte. Ob in der Tiefe noch geschmolzene oder gasförmige Massen vorhanden sind, ist zweifelhaft, vermutlich ist die Rinde sehr dick, und jedenfalls herrscht im Innern eine außerordentlich hohe Temperatur, die aller Wahrscheinlichkeit nach den Schmelzpunkt der Gesteine unter dem Drucke nur einer Atmosphäre um ein sehr Bedeutendes übersteigt. Wenn nun der heiße Kern im Innern sich noch fortwährend abkühlt, was nicht bezweifelt werden kann,

so wird er sich auch fortwährend zusammenziehen und so die geforderten Bedingungen für die Bildung von Senkungen und Faltungen geben.

Man hat dies zu bestreiten gesucht mit dem Hinweise, daß beim Abkühlen einer geschmolzenen Kugel im kalten Raume ganz andre Erscheinungen hervortreten müßten. Anfangs allerdings muß die äußerste Hülle rascher erkalten, die sich bildende Kugelschale wird sich schneller zusammenziehen als die innern Teile, sie wird zerklüften, und es werden nach unten sich verschmälernde Spalten entstehen; aber in einem spätern Stadium, wenn die Oberfläche die Temperatur der Umgebung angenommen hat, während in der Tiefe noch ungeheuer hohe Hitzegrade weit über dem Schmelzpunkte der Gesteine (bei einer Atmosphäre Druck) herrschen, wird die Abkühlung nur von dem Wärmeschatze des Innern zehren. Man hat zwar geglaubt, daß selbst unter den günstigsten Verhältnissen sich dabei bloß die im frühern Abkühlungsstadium gebildeten Spalten füllen würden; allein diese Annahme ist unrichtig. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß an irgend einer Stelle der Erde die ursprüngliche Erstarrungskruste sichtbar sei; sie liegt unter einem mächtigen Mantel von Sedimenten und Eruptivgesteinen, und diese haben längst auch diese Spalten ausgefüllt.

Auf der ganzen Erde findet man unter der geringen Schicht, welche mit dem Wechsel der Jahreszeiten wärmer und kälter wird, überall eine Bodentemperatur, die genau der mittlern Jahrestemperatur der Atmosphäre entspricht, und wie wir in einem spätern Abschnitte sehen werden, herrschte dieses Verhältnis aller Wahrscheinlichkeit nach schon während der paläozoischen Zeit. Alle Wärmeverluste durch Strahlung, durch Vulkane und warme Quellen werden von den tiefern Lagen bestritten, und von diesen aus findet selbst eine Durchwärmung der sich bildenden Sedimente statt, welche ja bekanntlich auch nach der Tiefe hin an Wärme zunehmen. Unter diesen Umständen kann kein Zweifel sein, daß in der Tiefe eine Zusammenziehung stattfindet, während in den obern Regionen die Temperatur, somit das Volumen, gleich bleibt oder selbst sich steigert. Außerdem wird auch, allerdings in verhältnismäßig geringfügigem Betrage, durch die Vulkanausbrüche Material aus der Tiefe genommen.

Die schon alte Ansicht, daß namentlich die Zusammenziehung der Erde bei der Abkühlung die Quelle der gebirgsbildenden Kraft darstelle, ist in neuerer Zeit von Dana, Heim und Sueß vertreten worden. Wir dürfen das Prinzip an sich wohl als ein richtiges annehmen, dagegen stellen sich noch große Schwierigkeiten dem Versuche entgegen, die einzelnen Äußerungen dieser Kraft genau auf ihre nächsten Ursachen zurückzuführen und zu bestimmen, unter welchen Umständen die eine oder die andre Wirkung erzielt wird. Zunächst wird in den oberflächlichen Schichten natürlich eine Spannung eintreten, welche anwächst, bis sie im stande ist, den Widerstand der Gesteine allmählich zu überwinden. Aber selbst bei vorhandener Spaltenbildung kann es zu keinem Absinken in die Tiefe kommen, da immer noch die geborstenen Stücke der Erdrinde wie die keilförmigen Steine eines künstlichen Gewölbes sich tragen. Es wird also in erster Linie durch den gewaltigen Seitendruck, welchen die Gewölbespannung ausübt, an irgend einer Stelle eine Zusammenschiebung erfolgen müssen und entweder eine reine Faltung entstehen (z. B. im Juragebirge), oder eine Scholle unter gleichzeitiger Faltung oder seltener ohne dieselbe in der Weise verschoben werden, daß einer ihrer Ränder emporgedrängt wird und schroff abbricht, wie es bei jenen Gebirgen der Fall ist, die auf der einen Seite altkristallinische Gesteine enthalten, während sie nach der andern in immer seichter werdende Falten auslaufen (z. B. in den Karpaten). Durch den Abbruch des Schollenrandes wird Raum gewonnen, die Gewölbespannung in den nicht gefalteten Teilen hört auf, und die einzelnen Schollen können in die Tiefe absinken. Auf diese Weise bilden sich die Senkungsfelder am Innenrande der Gebirge, aus denen die Eruptionen vulkanischer Gesteine stattfinden.

Es mag dies in den allgemeinsten Umrissen eine Vorstellung von den Vorgängen der Gebirgsbildung geben; weiter einzugehen und Spekulationen über die verschiedenen Einzelheiten, ihre vermutliche Aufeinanderfolge und ihren Zusammenhang anzufügen, dazu bietet der heutige Stand unsers Wissens noch nicht die genügenden Anhaltspunkte. In bestimmten, genau untersuchten Fällen ist es vielleicht heute schon möglich und zulässig, eine Verallgemeinerung wäre aber jedenfalls verfrüht. Dasselbe gilt auch von den Versuchen, aus dem Maße der Senkung und Faltung in einzelnen Gebirgen oder auf der ganzen Erde den Betrag zu berechnen, um welchen unser Planet sich zusammengezogen und abgekühlt haben muß, um diese Wirkung zu ermöglichen. Nur das eine können wir mit Sicherheit sagen, daß es sich um ganz enorme Veränderungen der Gestalt, mithin bei dem überaus langsamen Verlaufe der Abkühlung um alle Begriffe übersteigende Zeiträume handelt.

Als die einzige bei der Gebirgsbildung thätige Kraft haben wir die Schwere der Massen kennen gelernt, welche entweder auf weichender Unterlage nach abwärts sinken, oder, wo der Gewölbebau der Erdoberfläche dies verhindert, einen Seitendruck ausüben. Eine Spur einer selbständig von unten nach oben wirkenden Kraft haben wir noch nicht gefunden; kein irgend ausreichender Grund ist für die Annahme vorhanden, daß an den Verwerfungen eine Hebung des einen Flügels stattfinde, und ebensowenig kann von einem senkrechten Aufsteigen der Zentralmassen der Gebirge die Rede sein. Wenn wir dies aussprechen, muß jedoch ganz besonders betont werden, daß eine selbständige Hebung nicht vorkommt; dagegen findet eine Aufwärtsbewegung von Massen bei der Faltung der Gebirge als Begleiterscheinung ganz unzweifelhaft statt. Wenn irgend eine horizontal liegende Schicht in Falten gelegt wird, so wird natürlich der Scheitel der Falten höher liegen als ursprünglich die ungestörte Fläche, es findet also eine Emportreibung von Gesteinsmaterial statt. Derselben verdanken die Gebirge der Hauptsache nach ihr Hervorragen über ihre Umgebung, aber dieser Vorgang ist nicht die Wirkung einer aus dem Erdinnern emporhebenden Kraft, sondern einer Komponente des Seitenschubes, den die Schwere der Massen ausübt.

Nicht nur bei der Faltenbildung werden solche sekundäre Hebungen auftreten können, sondern auch bei der Bildung von Verwerfungen sind analoge Erscheinungen nicht ausgeschlossen. Denken wir uns eine horizontale Schichtentafel, deren eine Hälfte im Absinken begriffen ist. Ehe der diesen Vorgang begleitende Bruch erfolgt, kann bei elastischer Beschaffenheit des Materiales, die ja den Gesteinen nicht ganz fehlt, zuerst eine Biegung der Tafel eintreten. Endlich bildet sich ein Sprung, eine Spalte, an welcher der sinkende Teil abgleitet; der nach abwärts gebogene Rand der stehen gebliebenen Scholle wird möglicherweise wieder in die alte horizontale Lage zurückkehren oder sich derselben wenigstens nähern und sich dabei nach aufwärts bewegen. Der Umstand, daß man in mehreren Fällen an großen Verwerfungen sehr junge Meeresablagerung horizontal in großer Höhe über dem Meeresspiegel liegen sieht, kann vielleicht in dieser Weise erklärt werden; die Tuffe mit Meereskonchylien, die am Monte Epomeo auf Ischia zu großer Höhe emporsteigen, die hoch gelegenen, sehr jungen Meeresschichten am Isthmus von Korinth und auf Kos, die bedeutend ansteigenden Korallenkalke an den Ufern des Roten Meeres gehören vielleicht in diese Kategorie. Solche Bewegungen können wir natürlich nicht als eigentliche Hebungen, als selbständige Aufwärtsbewegungen bezeichnen; nur einzelne Vulkane und die Lakkolithen bieten uns in gewissem Sinne Beispiele einer solchen dar, obwohl auch hier die Schwere auflastender Massen, ihr Druck auf die in der Tiefe befindlichen geschmolzenen Gesteine als der Hauptfaktor der Aufwärtsbewegung betrachtet werden muß.

Erloschene Gebirge.

Wenn die Gebirgsbildung eine Folge der Zusammenziehung der Erde durch Abkühlung ist, so ergibt sich daraus unmittelbar, daß dieselbe von den frühsten Zeiten an thätig gewesen sein und noch jetzt fortdauern muß, und wenn eine bleibende Änderung in der Intensität des Vorganges stattfindet, so muß dieselbe in einer allmählichen Abnahme bestehen, da auch die Abkühlung bei ihrem Fortschreiten eine langsamere wird. Wenn wir jedoch mit diesen kaum bestreitbaren Folgerungen die wirklichen Verhältnisse vergleichen, so finden wir ein scheinbar sehr abweichendes, merkwürdiges Resultat. Die bedeutendsten, höchsten und ausgebildetsten Gebirge sind nämlich alle verhältnismäßig sehr jung; der Hauptbetrag der Bewegung, der sie ihre jetzige Höhe verdanken, fällt in die jüngere Abteilung der Tertiärzeit. Die letzte Hauptaufrichtung der Alpen und Karpaten fand während des Miocäns statt, in den Apenninen und den alpinen Ketten Griechenlands läßt sich die Fortdauer der Bewegung sogar bis ins Pliocän verfolgen, und auch der Kaukasus, der Himalaja, die Anden Südamerikas, die großen Bergketten des westlichen Nordamerika haben im jüngern Tertiär mächtige Aufrichtungen erfahren. Von selbst drängt sich die Frage auf, ob sich denn in vormiocäner Zeit keine gleichhohen Gebirge gebildet haben, ob gerade das jüngere Tertiär die privilegierte Zeit mächtigster Kettenauftürmung gewesen ist. Dies ist ganz bestimmt nicht der Fall; wohl mag die Gebirgsbildung in einzelnen Zeiten energischer thätig gewesen sein als in andern, der Hauptsache nach aber haben wir allen Grund zu der Annahme, daß zu allen Zeiten dieselben Massenbewegungen vor sich gegangen sind. Wenn wir trotzdem aus älterer Zeit keine Gebirgsketten kennen, die sich mit den eben genannten messen können, und wenn z. B. in den Alpen schon vortertiäre Störungen nachweisbar sind, aber der Hauptanteil an ihrer jetzigen Höhe den jungen Verschiebungen zufällt, so erklärt sich das durch die unablässige Wirksamkeit der Abtragung und Zerstörung der Gesteinsmassen im Laufe der Zeit.

Selbst wenn wir ein junges Kettengebirge, wie die Alpen, betrachten, so wird es sofort klar, daß dieselben sehr viel höher wären ohne die Thätigkeit der stetig nivellierenden Gewalten; in dem auf der Tafel bei Seite 312 abgebildeten „Profile der Alpen" sind die Linien eingetragen, welche die einzelnen jetzt nicht mehr zusammenhängenden Teile gefalteter Schichten miteinander verbinden. Diese Stücke waren ursprünglich vorhanden, und ohne die Wirkung der Abtragung durch Wasser ꝛc., der „Erosion", hätten die Alpen jene gewaltige Höhe, welche die ergänzenden Linien angeben. Wir haben also selbst in einem so jungen Gebirge wie die Alpen nur noch eine Ruine vor uns, die in unablässig fortschreitendem Zerfalle begriffen ist, und wer die Schuttströme sieht, die von den Bergen zu Thale gehen, wer in den vegetationsarmen Regionen, namentlich der Kalkalpen, z. B. im Wetterstein- und Karwändelgebirge oder in den Dolomitbergen Südtirols, bei Besteigung gewisser Gipfel es selbst erfahren hat, welch ungeheure Gesteinsmassen unter der Last eines Menschen losbrechen und polternd und donnernd in die Tiefe stürzen, als ob der ganze Berg lebendig würde, der wird von der gewaltigen Wirkung der zerstörenden Kräfte hinreichend überzeugt sein. Wir brauchen auch gar nicht lange zu suchen, wohin die Materialien gekommen sind, welche die Alpen verloren haben; die riesigen Geröll- und Schuttmassen der Donauhochebene geben beredtes Zeugnis davon ab, welch kolossale Massen dem südlich gelegenen Gebirge entnommen worden sind. Man darf aber nicht etwa annehmen, daß die Alpen jene gewaltige Höhe jemals wirklich erreicht haben, welche wir durch Ergänzung aller Falten erhalten; die Aufrichtung dieser mächtigen Kette ist langsam während unermeßlicher Zeiträume vor sich gegangen, und während derselben war auch die Erosion, welche in Höhenregionen sehr viel wirksamer ist als im Hügellande oder in der Ebene, unablässig Tag für Tag an der Arbeit, um das sich emporbauende Gebirge sofort wieder abzutragen.

Derselbe Vorgang wie in den Alpen findet in allen Gebirgen statt, und wir werden uns, z. B. bei Besprechung der Thalbildung, überzeugen, daß ein großer Teil der Querthäler, welche in die Ketten einschneiden, nicht eine nachträgliche Bildung darstellen, sondern während der Aufrichtung vom Wasser ausgenagt worden und vielfach älter sind als die Gebirge. Überhaupt stellt uns kein Gebirge der Welt das absolute Maß der Wirkung dar, welche die Faltung hervorbringt, sondern immer nur den Überschuß der Leistung dieser über die Leistung der Erosion. In Fällen, in welchen die Aufrichtung sehr langsam vor sich geht, ist es sogar sehr wohl denkbar, daß ein solcher Überschuß gar nicht vorhanden ist und weitgehende Faltung stattfindet, ohne daß eine Terrainanschwellung resultiert, indem die Gewässer alles abtragen, was sich über das ursprüngliche Niveau emporhebt. Es können alle Vorgänge der Entstehung eines Kettengebirges sich abspielen, ohne daß Berge oder auch nur Hügel gebildet werden.

Es erklärt sich nun ganz von selbst, warum hohe Gebirge aus alter Zeit nicht existieren. Sobald in einer Kette keine Aufrichtung mehr statthat, sind die abtragenden Kräfte allein thätig, und im Laufe langer Zeiträume wird dieselbe, so gewaltig sie auch ursprünglich emporgeragt haben mag, zu einem welligen Hügellande abgetragen und endlich ganz eingeebnet. So finden wir in vielen Gegenden bei sehr starker Störung der Schichten ganz



Durchschnitt der archäischen Ablagerungen von Petite Nation bis St. Jérôme in Kanada (nach Logan). Der Faltenbau ist der eines Hochgebirges, aber das Terrain ist durch Erosion eingeebnet, das Gebirge (punktierte Linie) ist „erloschen“.

unverhältnismäßig geringe oder gar keine Erhebung des Bodens, so daß wir mit Sicherheit solche Stellen als die Stätten eines verschwundenen und abgetragenen Gebirges bezeichnen können. Betrachtet man z. B. einen Durchschnitt durch das bayrisch-böhmische Grenzgebirge, so bemerkt man, daß im südwestlichsten Teile desselben die ältesten Schichten, uralte Gneiße, auftreten, dann jüngere Gneiße, hierauf verschiedene archäische Schiefergesteine und endlich Schichten der kambrischen Formation folgen. Alle diese Ablagerungen folgen regelmäßig übereinander und sind so stark aufgerichtet, daß man fortwährend über die steil aufgestellten Schichtköpfe hinweggeht. Ein Blick ergibt, daß diese Gestaltung nur durch eine kolossale Denudation stattfinden konnte, und daß da, wo heute ein flachwelliges Bergland sich befindet, in früher Vorzeit ein gewaltiges Gebirge gestanden haben muß. Ähnliche Verhältnisse im großartigsten Maßstabe scheinen namentlich in China, in Kanada und Brasilien zu herrschen. Die Profile, welche Logan aus Kanada mitteilt, stellen ein flaches Land dar, das aber einen so energischen Faltenbau besitzt wie das gewaltigste Gebirge, und wir können nicht daran zweifeln, daß ein solches hier wirklich vorhanden gewesen ist (s. obenstehende Abbildung).

Derartige Beispiele sind sehr häufig, aber man hat bisher noch zu wenig auf sie geachtet. Wie die Abtragung vor sich geht, wird im nächsten Kapitel besprochen werden; hier mag nur noch darauf hingewiesen sein, daß die Spuren „erloschener Gebirge“ überaus verbreitet sind, und der einzige Umstand, daß man archäische Schichten in ungestörter Lagerung überhaupt nicht kennt, mag eine Andeutung für die Allgemeinheit dieses Phänomens geben. Dasselbe durch genaues Sammeln sicherer Beobachtungen näher zu untersuchen, ist eine Aufgabe, deren Erfüllung sich der Geologie gebieterisch aufzwingt. Ob es jemals möglich sein wird, auf diesem Wege so weit zu kommen, daß wir die Orographie früherer Perioden

wenn auch nur in den rohesten Umrissen, zu entziffern vermögen, ist allerdings zweifelhaft; immerhin aber wird es wenigstens in einzelnen Fällen möglich sein, die Stellen zu bezeichnen, wo einst ein Alpengebirge gestanden hat, und die Zeit seiner Aufrichtung und Zerstörung anzugeben. Jedenfalls wird man sich mit der Thatsache vertraut machen müssen, daß auch in dieser Richtung viel gewaltigere Veränderungen der Erdoberfläche stattgefunden haben, als man in der Regel annimmt, und die Berücksichtigung dieses Faktors wird auf eine Reihe von Anschauungen einen tief gehenden Einfluß ausüben, dessen Tragweite wir heute noch kaum ahnen können.

Fortdauer der Gebirgsbildung.

Wenn uns aus allen frühern Perioden Spuren mächtiger Veränderungen in der Lagerung der Erdmassen entgegentreten, so drängt sich von selbst die Frage auf, ob auch jetzt noch die Kräfte thätig sind, welche in der Vorzeit unsre Gebirge aufgetürmt haben. Allerdings sind uns keine historischen Nachrichten über ein derartiges Ereignis überliefert, keine Gebirgskette ist in nachtertiärer Zeit entstanden; aber es wäre doch sehr unvorsichtig, daraus den bestimmten Schluß ziehen zu wollen, daß jene Massenbewegungen zeitweilig oder endgültig aufgehört haben. Von einzelnen Kesselbrüchen, z. B. von demjenigen des Südägeischen Meeres, können wir sogar mit Sicherheit behaupten, daß ihre Entstehung, wenigstens zum großen Teile, nach Schluß der Tertiärformation während der Diluvialzeit stattgefunden hat. Was die Faltenbildung und Aufrichtung der Schichten anlangt, so wissen wir nicht, ob dieselbe nicht noch im Fortgange begriffen ist; es handelt sich ja auch hier um langsam fortschreitende Bewegungen, deren Wirkungen nicht in kurzer Zeit auffallend hervortreten, die sich aber vielleicht verfolgen ließen, wenn man in zahlreichen Gebieten mit großartigen Mitteln etwa alle 100 Jahre eigens hierzu bestimmte Präzisionsnivellements vornehmen würde. Ebensowenig kann man mit voller Bestimmtheit behaupten, daß sich in nachdiluvialen Ablagerungen nirgends Spuren von Aufrichtung finden. Man bemerkt in jenen losen angeschwemmten Massen sehr häufig Störungen, die man lokalen Rutschungen und Gleitungserscheinungen zuzuschreiben pflegt, und die auch sicher zum größten Teile auf diese Ursache zurückzuführen sind; es ist aber auch nicht der Schatten eines Beweises dafür vorhanden, daß dies allgemein der Fall ist, und manche derselben mögen sehr wohl einer fortwirkenden Thätigkeit der gebirgsbildenden Kräfte zuzuschreiben sein.

Das Vorhandensein einer horizontalen Spannung, die allmählich zu tektonischen Bewegungen führen muß, wird durch eigentümliche Erscheinungen bewiesen, welche in Steinbrüchen gemacht worden sind. Niles hat in Amerika beobachtet, daß große Platten, wenn sie aus dem Schichtverbande gebrochen werden, eine Ausdehnung erleiden, so daß sie dann etwas länger sind als die Lücke im Gesteine, welche durch ihre Herausnahme erzeugt wurde. Dasselbe soll auch in den Granitbrüchen von Mauthausen in Oberösterreich der Fall sein. In der Nähe von Chicago in Amerika wurde in den dortigen Silurablagerungen durch einen Steinbruch eine tief liegende Schicht bloßgelegt, die sich alsbald nach ihrer Bloßlegung auf einer Strecke von 800 Fuß zu einer flachen, etwa 6 Zoll hohen Falte von einem Querdurchmesser von 18 Fuß ausdehnte und im Scheitel durch einen Längssprung riß.

Zu diesen Anhaltspunkten gesellen sich andre Erscheinungen von Wichtigkeit. Schon früher wurde hervorgehoben, daß Erdbeben und Vulkane in ihrem Auftreten sehr merkwürdige Beziehungen zu dem Verlaufe der Gebirge zeigen, und wenn wir diesen Gegenstand etwas näher verfolgen, so gelangen wir zu unzweideutigen Spuren noch fortdauernder Veränderungen. Schon die flüchtigste Betrachtung der Verbreitung der heftigsten Erdbeben

und der großartigsten vulkanischen Erscheinungen läßt den innigsten Zusammenhang beider mit den Vorgängen der Gebirgsbildung erkennen; sie ist wesentlich an die Gebirgsketten und Senkungsfelder gebunden, wie das schon früher (s. S. 296) erwähnt wurde. Diese einfache und fundamentale Thatsache führt uns auf den richtigen Weg. Es wird niemand daran zweifeln, daß die Spalten und Sprünge unter der Wirkung einer gewaltigen, die Gesteine zerreißenden Kraft entstehen, daß das Absinken oder die Horizontalverschiebung der Massen an diesen Brüchen, daß die Faltung und Aufrichtung der Gesteine mit einer Erschütterung des Bodens verbunden sein müssen. Mag auch der Verlauf aller dieser Erscheinungen ein sehr langsamer sein, so werden doch die Bewegungen nicht in absoluter Gleichmäßigkeit und ganz allmählich eintreten ohne irgend bemerkbare Erzitterung des Bodens. Im Gegenteile wird immer einige Zeit hindurch Ruhe herrschen, es wird sich eine gewisse Spannung ansammeln, bis die Reibungshindernisse, welche momentan der weitern Bewegung entgegenstehen, überwunden werden. Es werden also alle diese Massenverschiebungen ruckweise vor sich gehen und als die uns fühlbaren Spuren ihrer Thätigkeit Erdbeben erzeugen; ja, es ist sehr wohl möglich, daß unter Umständen weit heftigere Erschütterungen eintreten, als diejenigen sind, von welchen wir aus der kurzen Spanne der historischen Zeit wissen.

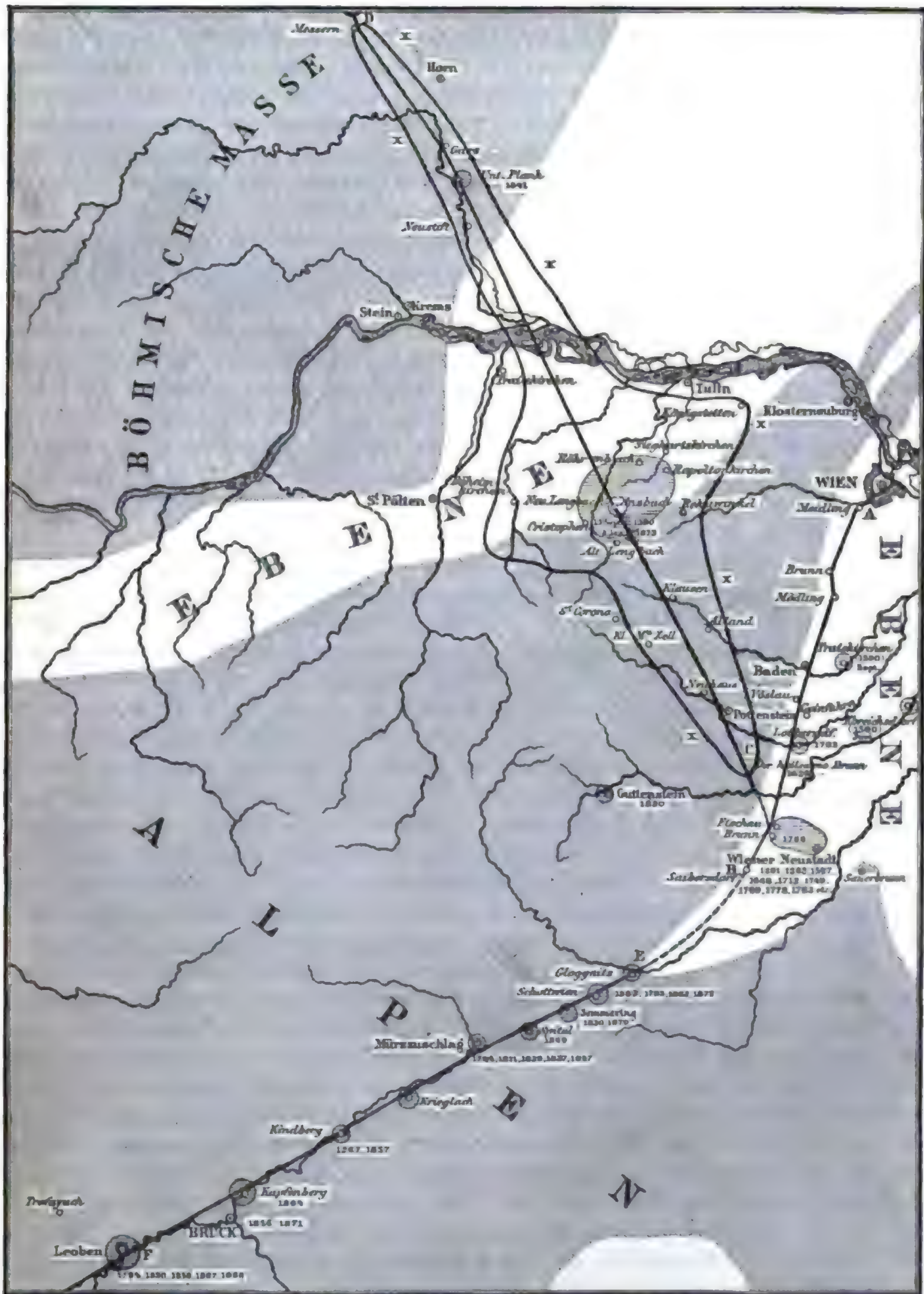
Es kann sich hierbei selbstverständlich nicht um jene Arten von Erdbeben handeln, welche oben (s. S. 295) als Explosions- und als Auslaugungsbeben bezeichnet wurden, sondern es steht nur die sehr große Gruppe der sogenannten tektonischen Erschütterungen in Frage, und wir werden bei der nähern Verfolgung des Gegenstandes die vollste Bestätigung der Ansicht erhalten, daß jene tektonischen Erschütterungen die einzelnen Zuckungen der fortschreitenden Gebirgsbildung darstellen, denn in mehreren Fällen ist es gelungen, Erdbeben auf bestimmte Bruchlinien zurückzuführen.

Ähnlich verhält es sich mit den Vulkanen. Die Ausbrüche geschmolzener Massen entstehen dadurch, daß in der Tiefe unter hohem Drucke erstarrte Massen, welche Gase absorbiert enthalten, durch Bildung von Spalten entlastet werden, wieder in Schmelzung geraten und in den Spalten aufsteigen. Es ist also die Bildung von Feuerbergen und deren Eruption ein Vorgang, der uns ebenfalls Kunde von dem noch immer fortschreitenden Prozesse der Spaltenbildung und des Absinkens, überhaupt von der dauernden Wirkung der gebirgsbildenden Kräfte gibt.

Erdbeben in Niederösterreich und in Unteritalien.

Wenn Erdbeben und Vulkanausbrüche uns die einzelnen Zuckungen der langsam fortschreitenden Gebirgsbildung fühlbar machen, so dürfen wir hoffen, daß ein näheres Studium des Zusammenhanges dieser Erscheinungen uns manche wichtige Einblicke gewähren wird. Die Untersuchungen von Sueß haben diesen Weg eingeschlagen, und wenn auch erst verhältnismäßig sehr wenige Gebiete genau genug erforscht sind, um befriedigende Aufschlüsse zu geben, so sind doch schon manche wichtige Resultate erzielt worden. Es wird die erste Aufgabe sein, zu prüfen, ob Erdbeben und Vulkane nicht nur ganz allgemein an die Regionen der Massenbewegung geknüpft sind, oder ob die einzelnen jener Erscheinungen mit bestimmten Störungen der Lagerung in ursachlichen Zusammenhang gebracht werden können. Wir wollen diese Beziehungen an einigen Beispielen kennen lernen.

Niederösterreich ist ziemlich häufig von Erdbeben heimgesucht, welche allerdings in der Regel schwach sind und nur in vereinzelten Fällen, namentlich im Jahre 1590, einen bedrohlichen Charakter angenommen haben. Verfolgt man die Ausbreitung ihrer „Schüttergebiete“, so findet man, daß diese immer in einer auf das Streichen der Alpen



Die Erdbeben Niederösterreichs.

AB Thermenlinie. — CD Kamplinie. — EF Mürzlinie. — xxx Grenze des Hauptschüttergebietes vom 3. Januar 1873. Vgl. Text, S. 340.

annähernd senkrechten Richtung, also ungefähr von Süden gegen Norden, verlängert sind, daß ganz bestimmte Linien am häufigsten heimgesucht werden, und daß diese Linien zu Erscheinungen des Gebirgsbaues in inniger Beziehung stehen. Wie wir oben gesehen haben, sind bei Wien die Alpen in ihrer Fortsetzung gegen Osten durch einen Kesselbruch abgeschnitten, dessen Westgrenze durch eine Bruchlinie, den Rand des Wiener Beckens von Wien bis Gloggnitz, bezeichnet ist. Längs dieser Spalte treten warme Quellen, bei Meidling, Baden, Vöslau ꝛc., auf, und eine Anzahl von Erdbeben wird angeführt, welche an derselben gefühlt wurden; es sind das die Stöße auf der Wiener „Thermenlinie“.

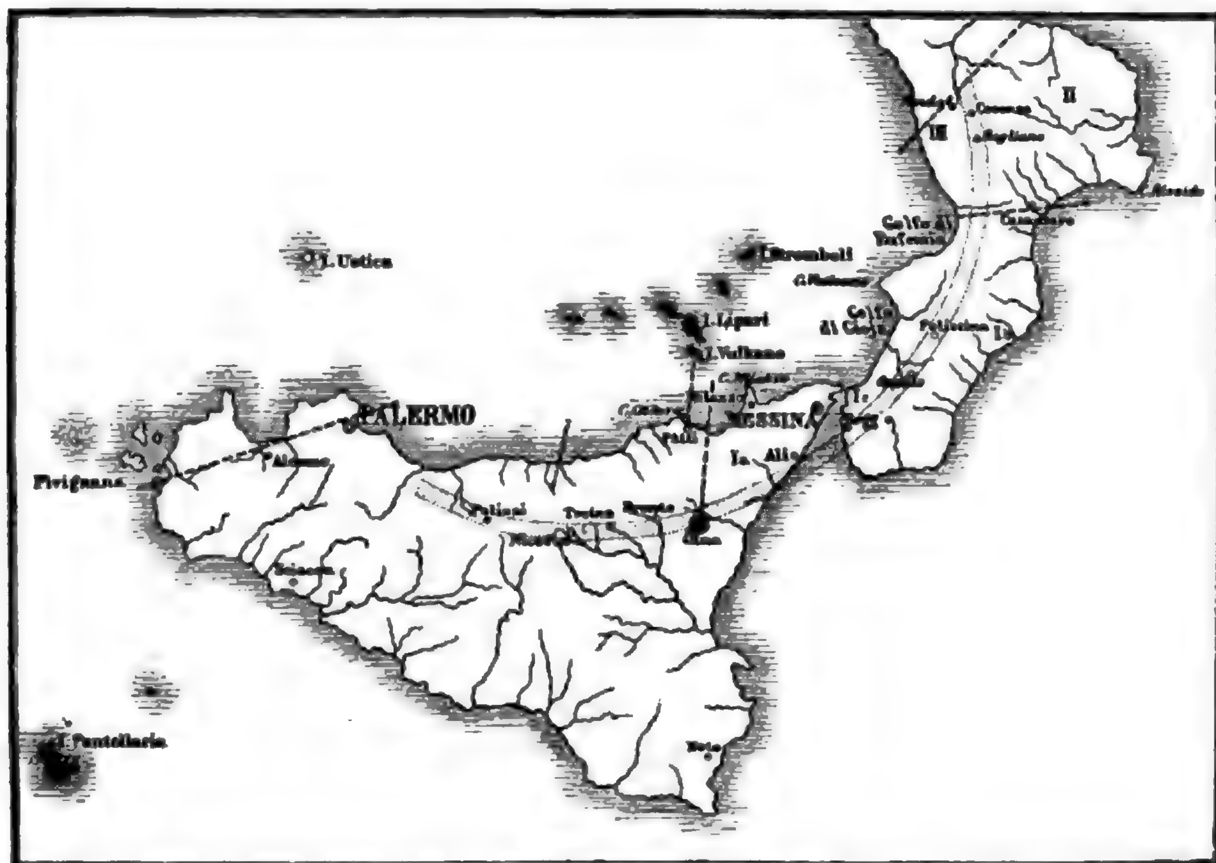
Noch häufiger sind Erschütterungen auf einer zweiten benachbarten Linie, die als die „Kamplinie“ bezeichnet wird. Sie beginnt am Rande des Wiener Senkungsfeldes in der Nähe von Wiener-Neustadt und wendet sich von da gegen Nordnordwesten in das Gebirge hinein; sie schneidet den äußersten nach Nordosten vorspringenden Teil der Alpen, setzt dann über die diesen nördlich vorliegende Ebene weg und läßt sich noch weithin geradlinig in die böhmische Masse hinein verfolgen, wobei sie anfangs dem Thale des Kamp-Flusses folgt. Die heftigsten Stöße finden dort statt, wo die Linie aus den Alpen heraustritt, entweder am Nordrande der alpinen Sandsteinzone, in der Nähe des Ortes Altlengbach, oder im Süden, wo sie den Kesselbruch erreicht und die Thermenlinie berührt, in der Nähe von Wiener-Neustadt; die Fortsetzung dieser Erschütterungen gegen Norden reicht oft sehr weit, einzelne derselben sind bis nach Dresden fühlbar geworden.

Auf der Karte S. 339, welche die Hauptschütterlinien Niederösterreichs sowie die Grenzen der Alpen, der Ebene und der böhmischen Masse angibt, ist auch die Verbreitung der heftigen Erschütterung bei dem Erdbeben vom 3. Januar 1873, eines eminent charakteristischen Stoßes auf der Kamplinie, eingezeichnet. Das Zentrum, an welchem auch Beschädigungen von Gebäuden vorkamen, lag diesmal, wie schon mehrfach früher, am Austrittspunkte der Kamplinie aus den Alpen in die Ebene bei Altlengbach, von wo sich die Erschütterung in geradliniger Verlängerung ins Gebiet der böhmischen Masse nach Nordnordwesten und bis fast an den Rand des Wiener Kesselbruches nach Südsüdosten fortsetzte. Neben dieser Hauptrichtung fällt uns aber noch eine zweite auf, die senkrecht zu jener steht und dem Verbreitungsgebiete die Form eines Kreuzes gibt. Da nämlich, wo die Stoßlinie aus den Alpen in die Ebene hinaustritt, breitet sich das Schüttergebiet am Alpenrande aus; es scheint, als ob in den losen Massen der Ebene der Querfortpflanzung des Stoßes weniger Widerstand entgegengestanden hätte als in dem festen Gesteine des Gebirges oder der böhmischen Masse.

Wir wollen nicht weiter auf die Besprechung einzelner Bewegungen an der Kamplinie eingehen, das eine Beispiel wird genügen, um den ausgezeichnet linearen Charakter hervorzuheben. Für uns ist insbesondere die Frage von Wichtigkeit, in welchem Zusammenhange diese Erscheinungen mit dem Gebirgsbaue stehen. Die Richtung der Querspalten ist in diesem Teile der Alpen fast ausnahmslos gegen Norden oder Nordosten gerichtet; gerade im Gebiete der Kamplinie aber haben die Untersuchungen von Bittner das Auftreten von nordnordwestlich verlaufenden Brüchen nachgewiesen. Sowohl die Erschütterungen der Thermen- als jene der Kamplinie entsprechen demnach Querbrüchen im Gebirge; während aber die erste die Randspalte eines Senkungsfeldes bezeichnet, stellt sich die letztere als eine von dem Kesselbruche ausgehende Radialspalte dar. Die Fortsetzung der Thermenlinie von Wien läßt sich noch weit nach Süden in den Alpen verfolgen; in Steiermark stellt das Thal der Mürz von Bruck bis Mürzzuschlag eine sehr häufig bewegte Schütterlinie dar, die sich einerseits nach Südwesten ins Thal der Mur, anderseits nach Nordosten über den Semmering nach Gloggnitz verfolgen läßt und hier mit einer Biegung in die Thermenlinie zu verlaufen scheint.

Ähnliche Verhältnisse, wie wir sie in den nordöstlichen Alpen kennen gelernt haben, kehren vielfach wieder. In den Karpaten wiederholte das Erdbeben von Sillein im obern

Waagthale, welches am 15. Januar 1858 stattfand, fast genau die Erscheinungen, die wir an den Stößen der Kamplinie kennen gelernt haben. Es ist ein karpatisches Querbeben, d. h. eine durch Bewegungen auf Querspalten erzeugte Erschütterung, das aber ebenfalls weit über den Bereich des Gebirges hinaus wirkte und sich in der Richtung des Stoßes bis nördlich von Breslau fühlbar machte. In besonderer Häufigkeit treten alpine Querbeben in den Südalpen auf, welche ebenfalls über den Bereich des Gebirges hinaus sich in die südlich anstoßende oberitalienische Ebene fortpflanzen, und wie aus den Arbeiten von R. Hörnes hervorzugehen scheint, findet auch hier vielfach die stärkste Erschütterung auf der Grenze zwischen Alpen und Ebene oder Hügelland statt.



Die Erdbeben Unteritaliens (nach Sueß). Ia Peloritanisches Gebirge. — Ib und c Aspromonte und Scylla. — II Sila. — III Cocuzzo. Vgl. Text, S. 342.

Auch in andern Gebirgen kommen ähnliche Stöße, wie es scheint, häufig vor; es sie hier nur erwähnt, daß der oben geschilderte furchtbare Erdbebenschwarm, welcher Phokis im Jahre 1870 verwüstete, aller Wahrscheinlichkeit nach einem großen Querbruche entspricht, den ich bei meinen Reisen in jenen Gegenden vom Nordrande der ätolischen Seen bis an die Bucht von Delphi verfolgen konnte; hier endet der Bruch an dem Senkungsfelde des Golfes von Korinth, und hier trat im Jahre 1870 die heftigste Erschütterung ein.

Weit seltener als Querbeben scheinen solche Erschütterungen zu sein, welche sich längs der Störungslinien im Streichen der Gebirge bewegen; doch fehlen auch diese nicht, wie es das Beispiel des von Lasaulx untersuchten belgischen Erdbebens vom 23. Februar 1828 zeigt, und auch manche der weithin am Fuße der Anden Südamerikas auftretenden Erschütterungen scheinen in diese Gruppe zu gehören.

Ein wesentlich andres Bild gewähren uns die Bewegungen Süditaliens. Als ein großes Senkungsfeld stellt sich das halbkreisförmige Meeresbecken zwischen dem Westrande der

Kalabrischen Halbinsel und der Nordküste von Sizilien dar, von dem aus eine Anzahl von kleinen Kesselbrüchen in das Festland eingreifen. Uralte Gneiße und Granite bilden zum großen Teile die Umrahmung, Reste eines Gebirges, dessen übrige Teile ins Meer gesunken sind. In der nordöstlichen Ecke von Sizilien liegt die alte Masse des Peloritanischen Gebirges, jenseit der Straße von Messina folgt dann in Kalabrien das alte Gebirge der Scylla, der Aspromonte mit dem Vatikanischen Vorgebirge, noch weiter nach Norden die Masse des Monte Cocuzzo und die Sila, wie es die Kartenskizze auf S. 341 angibt. Auch innerhalb dieser Gebirge zeigen sich Störungen, welche dem Verlaufe der Küste parallel laufen. So erscheint der Cocuzzo gegen die Sila, das Vatikanische Vorgebirge gegen den Aspromonte abgesunken. Im Zentrum des Halbkreises ragen aus dem Meere die Liparischen Inseln hervor, Vulkane, die, wie wir oben gesehen haben, auf drei von einem Zentrum ausstrahlenden Spaltenlinien angeordnet sind (s. S. 199).

Betrachten wir die einzelnen Bewegungen in dieser Region. In dieselbe fällt zunächst das große kalabrische Erdbeben von 1783, welches sich dadurch auszeichnet, daß in seinem mehrmonatlichen Verlaufe bei den einzelnen Stößen Maximum und Ausgangspunkt nicht immer an derselben Stelle blieben; die Stoßpunkte „wanderten", sie traten bald hier, bald dort an einer Linie auf, welche dem Bruchrande des Aspromonte entspricht. Im Jahre 1783 blieben die Erschütterungen auf diesen Strich beschränkt. Allein letzterer bildet nur ein Stück einer großen, häufig von Erdbeben heimgesuchten Bogenlinie; dieselbe beginnt im Norden mit der einem Bruche entsprechenden Einsenkung zwischen Sila und Cocuzzo, dann folgt der Bruchrand des Aspromonte, von wo die Fortsetzung über die Straße von Messina nach Sizilien greift und südlich vom Peloritanischen Gebirge den Ätna erreicht. Weiterhin stellen wahrscheinlich die häufig von Stößen heimgesuchten Orte Bronte und Nicosia eine Verlängerung dar, welche dann das Madoniengebirge östlich von Palermo trifft. Es ist hier also eine Reihe von häufig erschütterten Stoßpunkten zu einem Bogen angeordnet und um das Zentrum der Liparischen Inseln als Mittelpunkt gelagert. Auf ihr bewegen sich die „peripherischen Stöße" des Senkungsfeldes, und es ist wahrscheinlich, daß im Verlaufe vieler Hunderttausende von Jahren die auf der Innenseite dieser Linie gelegenen Gebirgsteile ins Meer sinken werden. Neben diesen Erscheinungen zeigen sich aber noch andre: Vom Liparen-Zentrum gehen drei durch Vulkanreihen bezeichnete Spalten aus; die eine, deren Verfolgung im offenen Meere nicht möglich ist, ist nach Westen gerichtet, auf einer zweiten liegen Lipari, Vulcano und Vulcanello, und wo ihre Verlängerung die peripherische Schütterlinie trifft, steht auf der Kreuzungsstelle der Ätna. Erdbeben aus der Richtung der Liparen machen sich in dieser Linie häufig bemerkbar. Die dritte Vulkanspalte der Liparen, welche, gegen Nordosten gerichtet, den Stromboli trägt, macht sich auf dem kalabrischen Festlande durch nordöstliche Radialstöße bemerkbar, die namentlich in der Niederung zwischen Sila und Cocuzzo, in der Gegend von Cosenza, besondere Heftigkeit entwickeln und häufig von gesteigerter vulkanischer Thätigkeit der Liparen begleitet sind. Auch lassen sich noch einige weitere Radiallinien ähnlicher Art verfolgen.

Das Ergebnis seiner Untersuchungen über diesen Gegenstand faßt Sueß in folgenden Worten zusammen: „Man hat sich wohl vorzustellen, daß in einem durch die peripherische Linie von 1783 abgegrenzten Raume die Erdrinde schüsselförmig sich einsenkt, und daß hierbei radiale Sprünge entstehen, welche gegen die Liparen konvergieren; diese konvergierenden Linien sind in der Nähe dieses Zentrums mit Vulkanen besetzt, jede Gleichgewichtsstörung der einzelnen Schollen verursacht gesteigerte vulkanische Thätigkeit auf den Inseln und Erschütterungen des Festlandes oder Siziliens. Wird einmal dieser Vorgang der Senkung weiter vorgeschritten sein, so werden die niedrigen Gneißberge des Vatikanischen Vorgebirges, die Granitberge der Scylla sowie ein guter Teil des Peloritanischen Gebirges und

der Madonien unter dem Tyrrhenischen Meere begraben sein, welches dann den Bruchrand der westlichen Seite des Aspromonte nach gänzlicher Zerstörung der tertiären Vorlagen gerade so bespülen wird, wie es heute den westlichen Bruchrand des Cocuzzo bespült. Die Straße von Messina wird erweitert sein, und von der heute noch aus den Trümmern erkennbaren Umbeugung der jüngern Gesteinszonen des Apennin wird höchstens zwischen Ali und Taormina ein vereinzeltes Bruchstück aufragen als östlichstes Vorgebirge des wesentlich verkleinerten Sizilien."

Wir erhalten hier ein verhältnismäßig klares Bild von den Vorgängen auf Senkungsfeldern. Ihnen gehören die heftigsten Erdstöße, ihnen die große Mehrzahl der Vulkane an; auf Störungslinien fern von solchen Gebieten ist nur ausnahmsweise eruptive Thätigkeit zu bemerken. Wir sehen dabei auch, wie innig Erdbeben und Vulkane miteinander verbunden sind, und es wird verständlich, daß man in früherer Zeit geradezu die Feuerberge oder Bewegungen geschmolzener Massen in der Tiefe als die einzige oder vorwiegende Ursache der Erschütterungen betrachtete. Heute ist die Auffassung eine andre, beide Erscheinungen sind lediglich die Ausflüsse eines und desselben größern Vorganges, der beide zu seinen untergeordneten Begleiterscheinungen zählt. Man wird daher die Gewohnheit aufgeben müssen, alle in der Nähe von Vulkanen auftretenden Stöße als vulkanische zu bezeichnen; auch sie sind großenteils tektonische Beben, und nur die unmittelbar durch Gasexplosionen erfolgenden Bewegungen in der unmittelbaren Umgebung eines Feuerberges wird man als explosive Beben den übrigen entgegenstellen dürfen. Die tektonischen Erdbeben bieten eine ungemein große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen; durch Beobachtung der Eigentümlichkeiten, welche den verschiedenen Arten dieser Erschütterungen je nach ihren tektonischen Ursachen zukommt, werden wir auch zu einer naturgemäßen Einteilung kommen. Jedenfalls geht aus diesen Betrachtungen so viel mit Bestimmtheit hervor, daß wir in Vulkanausbrüchen und Erdbeben die einzelnen Symptome und kleinsten Bewegungen der Senkung und der Zusammenfaltung von Streifen der Erdrinde zu Kettengebirgen vor uns sehen, daß diese Vorgänge also noch heute ununterbrochen thätig sind.

Geographische Homologien.

Das Studium der Gebirgsbildung klärt uns über die Entstehung einzelner Glieder der kontinentalen Massen und über ihre Gestaltung auf, aber die Festländer und Meeresbecken in ihrer Gesamtheit, welche die großen Hauptzüge des Reliefs unsers Planeten darstellen, bringen uns vor neue Fragen, die wohl zu den dunkelsten und schwierigsten gehören, welche die Geologie überhaupt beschäftigen. Darum können wir uns der Einsicht nicht verschließen, daß wir auf diesem Gebiete oft vagen Hypothesen, ja einem ratlosen Herumtasten an noch unverstandenen Erscheinungen begegnen, und daß wir hier noch in den allerersten Schritten zur Anbahnung einer Erkenntnis begriffen sind.

Der Umriß der Festländer und der Meeresbecken ist bekannt; auf der nördlichen Halbkugel ist die Hauptmasse der Kontinente zusammengedrängt, auf der südlichen überwiegt das Meer. Die größten Tiefen des letztern bleiben in ihrem Betrage nur sehr wenig hinter den allerhöchsten Bergen zurück. Während eine Lotung östlich von Japan den Boden erst in 8400 m erreichte, ragt der höchste bis jetzt gemessene Berg der Erde, der Gaurisankar im Himalaja, zu 8840 m empor. Es würde demnach der Abstand zwischen höchster Erhebung und tiefster Einsenkung der Erdfeste 17,240 m betragen, in Wirklichkeit aber ist der Unterschied größer, da nach dem früher Gesagten die Kontinente das Meerwasser durch ihre Masse anziehen und dieses daher gegen die Küsten hin ansteigt. Aus der annähernden

Gleichheit des Betrages für größte Bergeshöhen und bedeutendste Meerestiefen darf man jedoch nicht schließen, daß die Erhebung der Kontinente über Wasser annähernd dieselbe sei wie die Einsenkung der Meeresbecken. In Wirklichkeit besteht, wenn man nicht einzelne exzessive Größen, sondern mittlere Werte berücksichtigt, zwischen beiden ein sehr bedeutender Unterschied, denn während nur sehr wenige isolierte Spitzen in sehr große Höhe hinaufreichen, bildet das Meer, abgesehen von den Steilküsten, überall ein sehr flaches Relief, und wenn auch sehr erhebliche Tiefenunterschiede herrschen, so verlaufen doch Erhabenheiten und Einsenkungen ganz allmählich ineinander. So kommt es, daß die durchschnittliche Erhebung der Kontinente über dem Meere etwa 440 m, die mittlere Meerestiefe etwa 3440 m beträgt.

Man hat vielfach versucht, in der Gestaltung der verschiedenen Kontinente übereinstimmende Züge, „geographische Homologien", aufzufinden. Wären solche einmal mit Sicherheit erkannt, und wäre es nachweisbar oder auch nur in hohem Grade wahrscheinlich, daß dieselben in den verschiedenen Fällen auf übereinstimmenden Ursachen beruhen, so könnte man hoffen, daraus Anhaltspunkte für ein Urteil über die Entstehung der Festländer zu erhalten; allein leider stehen diese Vergleiche auf schwachen Füßen und sind wenig geeignet, als Ausgangspunkte für weitere Schlüsse zu dienen.

Einer dieser gemeinsamen Züge soll darin bestehen, daß die Kontinente auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten von Kettengebirgen eingesäumt sind, von denen das höhere auf der Seite des größern Ozeanes liegt, während in der Mitte eine Einsenkung stattfindet und die niedrigere dieser Ketten oft noch durch eine weite Ebene jungen Schwemmlandes von der Küste getrennt ist. In Südamerika liegen z. B. im Westen am Stillen Ozeane die Anden, im Osten das brasilische Bergland, dann das brasilische Tiefland; in Nordamerika im Westen die Sierra Nevada, im Osten die Alleghanies, vor diesen die flache Ostküste. In Asien treten im Süden die riesigen Mauern des Himalaja und Kuenlün, im Norden der Altai und noch weiterhin gegen das Eismeer die sibirische Ebene auf. Allein wenn wir etwas näher zusehen, so finden wir, daß die Regel nicht allgemein gilt. So haben wir in Nordamerika die gewaltige Massenerhebung der Rocky Mountains weit im Innern, an einer Stelle, welche der oben angeführten Regel durchaus widerspricht. Legen wir in Südamerika den Querschnitt nicht, wie es gewöhnlich geschieht, von den bolivianischen Anden nach Osten, sondern unter dem Äquator oder im Süden vom südlichen Chile aus, so haben wir nur eine westliche Gebirgskette und im Osten daran anschließend bis zum Meere weite, ununterbrochene Flächen. Legt man in Asien das Profil, statt im Meridiane der Gangesmündung, z. B. durch die Vorderindische Halbinsel nach Norden oder durch den Meridian von Merw, so erhält man absolut abweichende Bilder. In Europa kann man die Alpen als das südliche, den Harz oder den Thüringer Wald als das nördliche Gebirge betrachten, wenn man Skandinavien unberücksichtigt lassen will; geht man aber weiter nach Westen, so bilden die Pyrenäen einen völligen Widerspruch gegen jene scheinbare Regel, und bei Afrika und Neuholland kann man vollends nur durch reine Willkür eine entfernte Ähnlichkeit mit dem Schema finden. Unter diesen Umständen darf man hier von keinem allgemein herrschenden Gesetze sprechen; daß verhältnismäßig oft große Ketten am Meere liegen, ist die einfache Folge der Verknüpfung zwischen Gebirgsbildung und Senkung.

Eine andre, weit auffallendere Erscheinung liegt in der vielen Festlandsmassen gemeinsamen Eigentümlichkeit, gegen Süden in keilförmig zugespitzter Form auszulaufen; Nord- und Südamerika, Grönland, Afrika, Vorderindien, Neuholland mit Tasmanien haben diese Gestaltung, welche jeder Blick auf einen Globus oder auf eine Erdkarte als einen ausgeprägten Grundzug in der Umrißbildung der Kontinente erkennen läßt.

Trotzdem darf auch dieser eigentümlichen Ähnlichkeit kein großer Wert beigelegt werden. Zunächst ist die Gestalt der Kontinente im Verlaufe der geologischen Epochen nicht

beständig genug, um diese Bildung als eine dauernde und daher in einem fortwährend wirkenden Gesetze begründete erscheinen zu lassen; für den Beginn der Tertiärzeit ist es wenigstens für Afrika und Vorderindien sehr wahrscheinlich, daß sie noch keine derartige Gestalt zeigten. Vor allem aber wird die geringe Bedeutung der gegen Süden gerichteten keilförmigen Endigung dadurch klar, daß es nicht dieselben geologischen Faktoren sind, welche in den verschiedenen Fällen die Erscheinung bedingen.

Der Versuch einer Erklärung durch stärkere Anhäufung von Wasser auf der südlichen Halbkugel ist absolut ungenügend, da auch die untermeerischen „Festlandssockel" dieselben Umrisse haben; es muß in den Kräften, welche die Kontinente modellieren, in tektonischen



Karte des pazifischen und atlantischen Küstentypus. Vgl. Text, S. 346.

Vorgängen, die Ursache liegen. Wenn wir nun ins Auge fassen, in welcher Weise der Verlauf der Küstenlinien mit dem geologischen Baue zusammenhängt, so finden wir, wie Sueß gezeigt hat, zwei ganz verschiedene Typen, die ebenso sehr in ihrer Bildung wie in ihrer Verbreitung voneinander abweichen. Längs der ganzen Westküste von Amerika, von Kap Horn bis Alaska, ist bis auf eine kurze Unterbrechung in der Gegend von Panama der Verlauf der Küste bedingt durch das Streichen riesiger Gebirgsketten, welche überall den Ostrand des Stillen Ozeanes einsäumen. Vom nordwestlichsten Amerika an tritt dann eine Veränderung ein. Alaska und die Inselreihe der Aleuten sind die nördlichste jener vulkanischen Reihen, jener Festoninseln, welche, die Außenseite von Kesselbrüchen begrenzend, mit Vulkanen besetzte Bergketten darstellen und den Stillen Ozean nach Norden und an seiner asiatischen Westküste einsäumen. Wir sehen also, daß in der ganzen östlichen, nördlichen und westlichen Umrandung des Pazifischen Ozeanes die Küste immer dem Streichen der großen tektonischen Linien folgt. Dieser pazifische Typus der Küstenbildung, wie Sueß ihn bezeichnet, ist nicht auf dieses Gebiet beschränkt; auch die gegen Südwesten, gegen den

Indischen Ozean, gerichtete Begrenzung des Malayischen Archipels und die Westküste Hinterindiens bis zu der Mündung des Brahmaputra und des Ganges zeigen denselben. Jenseit dieses großen Schwemmlandes, in Vorderindien, ist die Entwickelung eine ganz andre; aber der Persische Meerbusen ist wieder längs des Streichens der Gebirge begrenzt, und dasselbe ist in einem großen Teile des Mittelländischen Meeres der Fall. Die Küsten Syriens, Kleinasiens, der Balkanhalbinsel und Italiens, endlich Teile von Spanien und Nordafrika sind nach pazifischem Typus gebildet.

Den vollsten Gegensatz sehen wir im Atlantischen Ozeane; nur die Nordküste von Spanien entspricht dem Streichen des Kantabrischen Gebirges, und das Karibische Meer zwischen den Antillen und dem amerikanischen Festlande ist von Festoninseln umschlossen, sie besitzen pazifischen Bau. Abgesehen von diesen zwei Strecken, ist am ganzen Atlantischen Ozeane keine Spur eines Zusammenhanges zwischen dem Verlaufe der Küste und demjenigen parallel streichender Gebirge bemerkbar; die ganze Westküste von Afrika, von Spanien, Frankreich, von England, Skandinavien, ferner Grönland, die ganze amerikanische Ostküste mit Ausnahme der Antillenregion, lassen die volle Unabhängigkeit des Kontinentalumrisses von solchen Erscheinungen erkennen, in der Regel schneidet derselbe die tektonischen Linien des Landes. Es ist das der atlantische Typus, der außerhalb des genannten Beckens noch die Ostküste von Afrika, die Südküste Arabiens, Vorderindien, Neuholland und wahrscheinlich auch die Nordränder Asiens und Nordamerikas beherrscht. (S. Abbildung, S. 345.)

Obgleich es also zweierlei total verschiedene Typen der Küstenbildung gibt, sehen wir doch unter der Herrschaft des einen wie des andern keilförmig zugespitzte Umrisse hervortreten und können daher in dieser Gestaltung keine ursächlich einheitliche Erscheinung erkennen.

Die Frage der Kontinentbewegungen.

Weit über den Bereich der zuletzt berührten Frage ist der Gegensatz zwischen pazifischem und atlantischem Typus von Bedeutung. Wo immer der erstere herrscht, sind es sehr junge tektonische Bewegungen der Erdrinde, welche die Grenze zwischen Meer und Festland bestimmen. Zwar ist dies auch in manchen nach atlantischem Muster gebauten Regionen der Fall, aber dann sind es stets Querbrüche, welche den Küstenverlauf bedingen. Jedenfalls sehen wir die Begrenzung der Kontinente durch sehr junge Äußerungen der gebirgsbildenden Kräfte in weitgehender Weise verändert und gelangen dadurch zu der großen und viel umstrittenen Frage, ob die Verteilung der Festländer großen Veränderungen unterworfen ist, oder ob die Grundzüge dieselben bleiben und wenigstens die Lage der Festlandssockel seit uralten geologischen Zeiten, solange überhaupt das Meer existiert, sich erhalten hat.

Diese letztere Ansicht wird namentlich in neuerer Zeit von einer beträchtlichen Anzahl von Geologen vertreten, und es darf als ein bedeutendes Verdienst derselben gelten, daß sie auf die große Schwäche jener Hypothesen hinweist, welche ein fortwährendes Auf- und Abschwanken von Kontinenten und Meeresboden annahmen. Viele Geologen und noch mehr solche, die mit der Geologie nur oberflächlich vertraut sind, haben im Dienste der verschiedensten Hypothesen Kontinente sich heben und wieder verschwinden lassen in einem Maße, das nicht gerechtfertigt werden kann. Wenn irgendwo in einem Schichtsysteme ein Horizont fehlte, der sonst vorhanden zu sein pflegt, so wurde sofort der Meeresboden in Bewegung gesetzt, er mußte durch säkulare Hebung in dem entsprechenden Zeitraume trocken gelegen haben. Um das Vorkommen irgend einer Käfergattung z. B. auf zwei ungeheuer weit voneinander entfernten Inseln zu erklären, mußten sich Tausende von Quadratmeilen in Bewegung setzen

Mögen nun streng kritische Untersuchungen ergeben, daß säkulare Hebungen vorkommen, oder nicht, so kann man sich jedenfalls nicht entschieden genug gegen derartigen Mißbrauch erklären.

Daß das Verhältnis zwischen Wasser und Land im allgemeinen nicht immer dasselbe ist, geht mit absoluter Sicherheit aus der Verbreitung von Meeresablagerungen auf dem festen Lande hervor. In früherer Zeit verfolgte man mit dem äußersten Interesse, bis zu welcher Höhe über dem Meeresspiegel in den größern Gebirgen marine Versteinerungen gefunden werden, und schloß dann, daß bis zu dieser Höhe einstmals das Meer gereicht habe. Eine solche Folgerung ist in dieser Einfachheit natürlich unrichtig; es handelt sich gerade bei den auffallendsten Beispielen in der Regel um gestörte Schichten, welche ihre bedeutende Höhenlage lediglich den mechanischen Vorgängen bei der Aufrichtung der Gebirge verdanken. Man darf selbstverständlich bei allen derartigen Folgerungen nur auf ungestört und horizontal gelagerte Sedimente Rücksicht nehmen. Immerhin finden wir auch bei dieser Beschränkung noch weit landeinwärts und in bedeutenden Höhen über dem Meere Gesteine mit Korallen, Seeigeln, Foraminiferen und Meeresmuscheln in ganz normaler Lagerung und erfahren hierdurch, daß diese Stellen einst Meeresboden waren. Die erste Frage ist nun natürlich, ob das Land aufgestiegen ist oder das Wasser sich zurückgezogen hat, und sehr verschieden hat zu verschiedenen Zeiten die Antwort gelautet. Gerade heute sind wir auf dem Punkte, daß sich die Ansichten schärfer gegenüberstehen, als das früher der Fall war; und die lange Zeit hindurch wenig besprochene Frage, mit welcher Art von Bewegungen wir es zu thun haben, ist durch neuere Untersuchungen von E. Sueß wieder in den Vordergrund gedrängt werden. Von diesem Forscher ist auch hervorgehoben worden, daß es streng genommen bei dem heutigen Stande unsers Wissens nicht zulässig ist, von Hebungen und Senkungen des Landes zu reden, sowenig als von einem Ansteigen oder Zurückweichen der Wasserfläche; er schlägt daher vor, nur von Verschiebungen der Strandlinie zu sprechen. Als positive Bewegungen bezeichnet er jene, welche als ein Untertauchen oder Sinken des Landes, ein Ansteigen des Wassers erscheinen, während die Hebung des Landes, das Zurückweichen des Meeres negative Verschiebungen der Strandlinie heißen.

Besonderes Interesse erregen jene Gegenden, in welchen solche Verschiebungen in sehr junger Zeit, teilweise seit Menschengedenken, erfolgt sind, und diese Bewegungen, welche seit Schluß der Tertiärzeit stattgefunden haben, müssen wir vor allen andern besprechen. An der schwedischen und norwegischen Küste hatte man schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts Beobachtungen dieser Art gemacht; das Land schien sich zu heben oder der Wasserspiegel zu sinken. Linné und Celsius ließen an der Küste Marken anbringen, um das Fortschreiten der Bewegung im Laufe der Zeit messend verfolgen zu können; sie waren der Ansicht, daß der Meeresspiegel sinke. Erst im Jahre 1802 sprach Playfair aus, daß bei derartigen Erscheinungen das Land sich hebe, und namentlich L. von Buch betonte, ohne von der Ansicht seines Vorgängers zu wissen, im Jahre 1807 aufs entschiedenste: „Daß der Meeresspiegel sinken kann, das erlaubt das Gleichgewicht der Meere schlechterdings nicht; da nun aber das Phänomen der Abnahme sich absolut nicht leugnen läßt, so bleibt, soviel wir jetzt sehen, kein andrer Ausweg als die Überzeugung, daß Schweden sich langsam in die Höhe erhebe“.

Diese Lehre vom langsamen Ansteigen der Kontinente wurde begierig von den Geologen aufgegriffen, da sie den Schlüssel für die oben erwähnte merkwürdige Erscheinung des Auftretens horizontal gelagerter Meeresbildungen im Binnenlande zu bieten schien. Bald gesellten sich zu dem Beispiele von der Küste Skandinaviens noch andre, welche auf eine Hebung in sehr junger Zeit hinwiesen, während auf der andern Seite Anzeichen einer entsprechenden Senkung des festen Landes sich an andern Punkten fanden. Es entwickelte sich

daraus die Lehre von den säkularen Schwankungen des Meeresbodens und der Festländer. Im vollen Gegensatze zu den mit Störungen, mit Aufrichtung und Faltung, mit Bildung von Brüchen und Verwerfungen verbundenen Äußerungen der gebirgsbildenden Kräfte, deren Wesen wir besprochen haben, sollte äußerst langsam über weite Strecken hin senkrechte Auf- oder Abwärtsbewegung stattfinden, die infolge einer gewissen Biegsamkeit der Erdrinde ohne Spaltenbildung vor sich geht; ja, in gewissen Fällen sollte eine größere Landmasse eine Schaukelbewegung ausführen, in der Weise etwa, daß der Norden ansteigt, der Süden sinkt, während ein in der Mitte gelegener Strich im alten Niveau bleibt; endlich wird angenommen, daß eine und dieselbe Region abwechselnd steige und sinke.

Es läßt sich nicht leugnen, daß eine solche Annahme wenig naturgemäß ist, daß es wenigstens auf den ersten Blick sehr bedenklich scheint, der Erde eine Oberflächenbewegung zuzuschreiben, die mit nichts anderm verglichen werden kann als mit den Atembewegungen eines Tierkörpers. Das Vertrauen zu dieser Auffassung leidet auch in hohem Grade durch den Umstand, daß es absolut nicht gelingt, irgend welche ausreichende Ursachen für diese Vorgänge anzugeben. Daß man vulkanische Kräfte nicht herbeirufen darf, ist von vornherein klar; man hat versucht, eine bewegende Kraft in der Kristallisation von vorher amorphen Gesteinen in der Tiefe zu finden, welche bei diesem Prozesse eine Volumenvermehrung erleiden und die überliegenden Massen heben sollen. Ob dieser Faktor als ein im großen wirksamer überhaupt in Anspruch genommen werden darf, ist eine sehr zweifelhafte und verwickelte Frage; in keinem Falle aber kann er genügen, um die Erscheinungen zu erklären, welche hier vorliegen. Wenn man bedenkt, daß es junge Strandlinien gibt, die mehr als 1000 Fuß über dem heutigen Meeresspiegel liegen, daß also seit der Diluvialzeit ein so bedeutender Niveauunterschied eingetreten ist, so reicht jener Vorgang nicht aus. Nehmen wir etwa an, ein Gestein vom spezifischen Gewichte 2,7 würde durch einen solchen Prozeß der Volumenvermehrung so weit verändert, daß das spezifische Gewicht nun 2,5 beträgt, so hätte in dieser Zeit die Umkristallisation einer mehr als 12,000 Fuß mächtigen Schicht stattfinden müssen, um den Betrag von 1000 Fuß zu erreichen, eine Annahme, die wohl nicht ernstlich erwogen zu werden braucht. Für die Gegend von Sweaborg, wo die Steigung 0,24 m in 40 Jahren betrug, müßten in dieser Zeit 3 m Gesteinsmächtigkeit denselben Prozeß durchgemacht haben. Die Senkungen werden ihrerseits durch Auslaugung und Nachsinken erklärt, was vollends eine absolute Unmöglichkeit ist; in der Region der Korallenriffe im Stillen Ozeane werden Senkungen des Bodens im Betrage von 2000 Fuß angenommen, welche kolossale, über Tausende von Quadratmeilen sich ausdehnende Hohlräume voraussetzen, die mit äußerster Langsamkeit einsinken sollen. Wie endlich Schaukelbewegungen oder abwechselndes Aufsteigen und Sinken einer und derselben Region auf diesem Wege erklärt werden sollen, ist unverständlich. Man hat statt dessen außerordentlich langsame und über sehr weite Strecken sich ausdehnende flache Faltenbildung, verursacht durch die allmähliche Zusammenziehung der Erde, als die Ursache der kontinentalen Hebungen und Senkungen betrachtet; allein bei der großen Ungleichmäßigkeit des Materiales und des Zusammenhanges in der Erdrinde kann eine solche Äußerung der Kontraktion nicht angenommen werden, zumal die auf diesem Wege entstehenden Spannungen durch die energischen Bewegungen der Gebirgsbildung ausgeglichen werden.

Trotz aller dieser theoretischen Bedenken wird man sich fügen und sich zur Annahme säkularer Hebungen und Senkungen bequemen müssen, wenn deren Stattfinden durch unzweideutige Thatsachen bewiesen wird. Man hat versucht, auf Karten die aufsteigenden und sinkenden Küsten mit verschiedenen Farben zu bezeichnen, und es ist dabei ein so überaus bunter Wechsel derselben zur Darstellung gekommen, daß man überhaupt keine Veränderung des Wasserstandes ersinnen kann, die diesen Verhältnissen genügen würde. Eine genaue

Betrachtung ergibt jedoch, daß viele der verwendeten Daten sehr weit davon entfernt sind, zuverlässig zu sein oder die daraus abgeleiteten Schlüsse zu rechtfertigen. Neben unzweifelhaften Beobachtungen sind wenig beglaubigte Erzählungen von Reisenden berücksichtigt, manche der angeblichen Hebungen beruhen lediglich darauf, daß durch abgelagertes Sediment dem Meere Raum abgewonnen wurde, ohne daß ein Ansteigen des Landes verbürgt wäre. Muschelanhäufungen über dem heutigen Niveau des Meeres, die als Zeichen einer Hebung gelten, haben sich später als die Reste der Mahlzeiten einer großenteils von Schaltieren lebenden alten Bevölkerung erwiesen. Eine Menge der sogenannten Senkungen lassen sich sehr einfach dadurch erklären, daß lose Massen von Sand, Thon oder ähnlichem Materiale von sehr häufigen Gleitbewegungen heimgesucht werden, wie sie der Natur der Sache nach ganz besonders häufig in den gewaltigen Massen jung angeschwemmten Landes vorkommen, welche die Mündungen großer Ströme umgeben. Ähnlich verhält es sich mit mächtigen Lagen von Waldboden oder Torf, die aus vegetabilischen Teilen bestehen und durch stete Zersetzung des Materiales eine starke Volumverminderung erleiden. Endlich muß die oft wiederholte Behauptung, daß thätige Vulkane stets Hebungsgebiete bezeichnen, entschieden abgelehnt werden. Aus diesen kurzen Andeutungen geht schon genügend hervor, wie viele Fehlerquellen hier vorliegen, wie viele Möglichkeiten der Täuschung namentlich beim Versuche sich ergeben, kleinere Schwankungen zu bestimmen. Es geht daraus auch hervor, daß man den Angaben jener Hebungs- und Senkungskarten nur mit großem Mißtrauen folgen darf, und daß wohl der größere Teil derselben unrichtig ist.

Wenn wir alle kleinern Schwankungen, alle Veränderungen in sehr geringem Betrage vorläufig ganz unberücksichtigt lassen und nur die großen Haupterscheinungen betrachten, über welche kein Zweifel möglich ist, so stellen sich dieselben verhältnismäßig einfach dar. Als Zeugen großer Senkungen des Festlandes oder starken Ansteigens des Meeresspiegels treten uns die Atolle und Barrierenriffe der tropischen Meere entgegen, die wir in einem großen Teile der Südsee, im Indischen Ozeane und im Atlantischen Meere wenigstens in der westindischen Region finden. Wir werden bei einer spätern Gelegenheit sehen, daß die Riffkorallen nur in einem seichten Gürtel zwischen dem Wasserspiegel nnd 20 Faden Tiefe üppig gedeihen, und daß demnach die Bildung jener Riffe, die oft mit steilem Absturze in beträchtliche Tiefen reichen, nur dann zu erklären ist, wenn der Wasserspiegel in stetem langsamen Ansteigen begriffen ist, so daß in dem Maße, in dem er sich erhöht, die Korallen emporbauen. Wir haben also *um den Äquator herum über weit ausgedehnte Strecken sichere Anzeichen für das Ansteigen des Wasserspiegels und Sinken des Landes*. Für die ausgiebige entgegengesetzte Bewegung werden nur wenige Beispiele von Bedeutung aus dem äquatorialen Gürtel angeführt. Dieselben beziehen sich in der Regel auf das Vorkommen von Korallenkalken hoch über dem heutigen Meeresniveau, wie das z. B. an den Küsten des Roten Meeres, auf den Philippinen und Bahamas zu beobachten ist. Doch fehlt es in diesen Fällen an dem durch genaue paläontologische Untersuchung der Tierreste gelieferten Nachweise, daß die fraglichen Kalke wirklich sehr jung sind und noch lebenden Arten angehören; vorläufig ist es wahrscheinlicher, daß sie dem Tertiär zuzurechnen sind.

Eine durchaus andre Erscheinung findet man in höhern Breiten *in großer Entfernung vom Äquator*, sowohl auf der nördlichen als auf der südlichen Halbkugel; hier treten überall die deutlichsten Anzeichen hervor, daß *der Meeresspiegel in neuerer Zeit gesunken oder das Land gestiegen ist*. Über dem heutigen Strande finden sich Spuren alter Uferlinien, Terrassen von jungen Sedimenten, zahlreiche Schalen noch jetzt lebender Meerestiere, langgezogene Strandlinien, die oft in den härtesten Fels eingeschnitten sind. Je mehr man sich den Polen nähert, um so höher am Ufer hinauf lassen sich im allgemeinen diese Spuren verfolgen; je weiter man sich von denselben entfernt, um so niedriger sind sie.

Die skandinavischen Küsten, die britischen Inseln namentlich in ihrem nördlichen Teile, Spitzbergen, Grönland, der nördliche Teil von Nordamerika zeigen diese Bildungen in ausgezeichnetster Weise, und ebenso deutlich tritt die Terrassenbildung auf der südlichen Halbkugel im südlichen Teile von Südamerika, in Südafrika und Südaustralien hervor.

Ein vortreffliches Beispiel dieser Vorkommnisse bietet die norwegische Küste, die wir nach den Schilderungen des bekannten Geologen Kjerulf etwas näher ins Auge fassen wollen. In den ehemals vom Meere bedeckten Gebieten finden sich nicht nur marine Muscheln und Schnecken vereinzelt in Thonen und Sandlagen eingebettet, sondern stellenweise



Norwegische Terrassenlandschaft.

sieht man ganze Massen der gebleichten Schalen zusammengehäuft; man kann im ganzen 30 solcher Muschelbänke unterscheiden, welche in verschiedenen Höhen an den Gehängen gefunden werden. Die höhern, 400—500 Fuß über dem heutigen Meeresspiegel gelegenen Bänke enthalten hochnordische Tierarten, welche während der Eiszeit lebten, während in den tiefer liegenden und natürlich später gebildeten dieselben Formen vorkommen, die noch heute an der Küste Norwegens leben.

Weit allgemeiner verbreitet als diese Muschelbänke ist die Terrassenbildung (s. obenstehende Abbildung). Steigt man in einem Thale empor, so sieht man, daß dessen Boden nicht allmählich und gleichmäßig, sondern in stufenförmigen Terrassen ansteigt. Man gelangt an einen steilen, etwa unter 30° geneigten Absturz; oben erreicht man eine ebene Fläche, die Terrassenoberfläche, von der aus ein weiterer Steilabsturz zu einer zweiten höhern Terrasse hinanführt. Diese Stufen, deren höchste etwa 600 Fuß über dem Meere liegt, erstrecken sich quer über das Thal und enthalten nur einen Einschnitt für den

Wasserlauf. Aber auch die Terrassen treten nicht längs der ganzen norwegischen Küste auf, sondern sie sind auf die Thäler beschränkt; ihre Entstehung muß in der Weise gedacht werden, daß der Wasserlauf des Thales Thon, Sand, Gerölle mit sich brachte und sie, dem damals höhern Stande des Meeres entsprechend, in einem höhern Niveau ablagerte. Sank dann der Meeresspiegel, oder stieg das Land an, so mußte der Fluß tiefer einschneiden und bildete in einem tiefern Niveau eine weitere Terrasse; so entspricht jede von diesen Terrassen einer Periode des Stillstandes in der Verschiebung der Strandlinie. Anders verhält es sich außerhalb der Thäler, wo das freie Gehänge der Berge, die mächtigen Granit- und Schiefermassen gegen das Meer abfallen. Hier fehlt es an dem leicht nachgiebigen Materiale, wie es in den Thalgründen die einmündenden Flüsse liefern, hier können infolgedessen keine weiten Terrassen gebildet werden. In Zeiten des Stillstandes hat hier die brandende Woge das feste Felsgestein selbst angegriffen und in dieses Strandlinien genagt, welche von unten wie ein über den Felshang sich hinziehender Strich erscheinen.

Es sind das die wichtigsten Erscheinungen, welche übereinstimmend in den höhern Breiten der nördlichen wie der südlichen Halbkugel auftreten. Sie weisen auf ein allgemeines Ansteigen des Landes und Sinken des Wassers hin, während die tropischen Regionen im großen und ganzen ein Sinken des Landes und Ansteigen des Wassers erkennen lassen. Wir finden also um den Äquator vorwiegend positive, um die Pole vorwiegend negative Bewegungen der Strandlinie, die beiderseits gegen die gemäßigte Zone hin abnehmen, und wenn wir diese großen Hauptzüge zusammenfassen, so würden sie vom Standpunkte der Hebungstheorie ein allgemeines Sinken des Landes um den Äquator, ein Ansteigen um die Pole bekunden, d. h. die Oberfläche der festen Masse nähert sich in einem Falle dem Erdmittelpunkte, im andern entfernt sie sich, mit andern Worten, wir stünden vor einer Abnahme der Abplattung der Erde. Nimmt man dagegen an, daß die Erde fest und das Niveau des Meeresspiegels veränderlich ist, so bedeuten die Erscheinungen ein allmähliches Abströmen der Wassermassen aus der Polarregion gegen den Äquator.

Aber neben diesen Hauptzügen der Bewegung kommen noch andre vor, wenn auch in sehr viel geringerm Maße, als man in der Regel glaubt. Man kennt Fälle negativer Bewegung des Wasserspiegels in tropischen, positiver in den Polen genäherten Gegenden. In einigen Fällen kann für eine Gegend nachgewiesen werden, daß die eine oder die andre Art der Bewegung in großem Maße vorherrscht, während lokal sich in sehr geringem Maße die Spuren einer entgegengesetzten Bewegung geltend machen. Ein solcher Fall liegt z. B. im südlichen Grönland vor: die ganze Küste dieses Landes ist von hoch gelegenen Strandlinien umgeben, welche den Beweis von bedeutendem Landgewinne liefern; unmittelbar an der heutigen Küste aber lassen sich einzelne, wie es scheint wohlbegründete, Beweise dafür beibringen, daß in der allerletzten Zeit das Meer wieder vorgedrungen ist. So ist im Igalljko-Fjord nahe dem südlichen Ende Grönlands unter 60° 43′ nördlicher Breite auf einer kleinen Felsinsel, die bei Flut fast ganz unter Wasser steht, von Arctander im Jahre 1777 Mauerwerk eines Hauses entdeckt worden, und jetzt scheint dasselbe beständig im Wasser zu stehen. Aber an den Rändern desselben Igalljko-Fjords hat Laube hoch oben am Gehänge Strandlinien beobachtet, wodurch die Vermutung widerlegt wird, daß Grönland in einer sogenannten Schaukelbewegung begriffen ist. In ganz ähnlicher Weise finden wir an den Korallenriffen des Tropenmeeres bisweilen die Erscheinung, daß auf ihnen, obgleich sie durch ihre ganze Form und die Steilheit ihres untermeerischen Absturzes auf ein starkes Ansteigen des Wasserspiegels im großen und ganzen hinweisen, dennoch einzelne Korallen und Muschelbänke etwas über dem heutigen Wasserstande liegen. Auch sie zeigen uns, daß in neuester Zeit eine schwache Bewegung in entgegengesetztem Sinne stattgefunden hat.

Um solche Vorgänge richtig zu beurteilen, müssen wir uns an ein Resultat erinnern, welches uns die Betrachtung der Terrassen lieferte. Ihr Vorhandensein zeigte, daß die Bewegung der Strandlinie keine ununterbrochene und gleichmäßige ist, sondern daß jede dieser Stufen eine Unterbrechung der Bewegung bezeichnet, wobei es vorläufig noch unentschieden blieb, ob wir es mit einem Stillstande oder mit einer zeitweilig eintretenden schwachen Bewegung in entgegengesetztem Sinne zu thun haben. Solche Vorkommnisse nun wie die oben erwähnten weisen darauf hin, daß in der That das letztere der Fall ist und ein Oszillieren in der Weise stattfindet, daß eine große Periode des Herabrückens der Strandlinie in eine Anzahl von einander entgegengesetzten Einzelbewegungen zerfällt, unter denen die negativen aber an Stärke und Dauer den positiven bedeutend überlegen sind. Wir haben uns also z. B. am Igalljko-Fjord den Vorgang folgendermaßen zu denken: zuerst steigt längere Zeit hindurch das Land um ein Beträchtliches an, dann tritt ein Stillstand ein, darauf erfolgt eine kürzere und schwächere „Zwischenbewegung", während deren ein geringes Untertauchen stattfindet und eine Terrasse oder eine dem Felsen eingegrabene Strandlinie sich bildet, und endlich tritt wieder ein stärkeres Zurückweichen des Wasserspiegels und Emporsteigen des Landes ein. Wie oft dieser Wechsel sich wiederholt, gibt uns die Zahl der Terrassen an. Das Untertauchen der kleinen Felseninsel im Igalljko-Fjord zeigt uns, daß diese Region in den letzten Jahrhunderten in einer solchen Zwischenbewegung begriffen war oder es noch ist.

In analoger Weise erklären sich jene wenig über das Meeresniveau hervorragenden, mit Korallen und Muscheln durchsetzten Bänke, welche hier und da auf Atollen und Barrierenriffen vorkommen. Auch sie führen nur eine Zwischenbewegung, ein kurz dauerndes und schwaches Zurückweichen des Meeresspiegels inmitten einer großen Periode positiver Bewegung, vor Augen, und alle diese sich an manchen Punkten wiederholenden Erscheinungen machen es wahrscheinlich, daß es sich bei den Verschiebungen der Strandlinie überhaupt um oszillierende, schwankende, Bewegungen handelt. Durch diese Erkenntnis wird wieder eine Anzahl jener vermeintlichen Fälle von Senkungen mitten in Hebungsgebieten und umgekehrt entfernt, es wird der Gesamtheit der Erscheinung ein viel einheitlicheres Gepräge gegeben; denn in den Fällen, wo in einem und demselben Bezirke hier ein Aufsteigen, dort ein Zurückweichen des Wasserspiegels angegeben wird, erklärt sich dieser Gegensatz dadurch, daß an dem einen Punkte die große Hauptrichtung der Verschiebung, an dem andern die Zwischenbewegung beobachtet und verzeichnet wurde.

Trotzdem aber geht diese Zurückführung auf große einheitliche Grundzüge nicht so weit, daß man etwa sagen könnte, die Tropen zeigen ausschließlich positive, die den Polen genäherten Regionen nur negative Bewegungen der Strandlinie. Einzelne Fälle sind vorhanden, in welchen allerdings eine sogenannte Hebung des Landes in der Nähe des Äquators bemerkbar ist. Schon früher war von jenen Korallenriffen die Rede, die auf den Philippinen, im Roten Meere und auf den Bahama-Inseln in großer Höhe vorkommen, und vielleicht ist hier ein oder das andre Beispiel eines wahren Zurückweichens des Meeres in sehr junger Zeit gegeben. Außerdem scheinen wahre Terrassenbildungen vereinzelt vorzukommen, so auf Java und einigen der Antillen, und diese dürften auf keine andre Weise als durch eine wirkliche Hebung des festen Landes zu erklären sein. Bemerkenswert ist es, daß alle diese Ausnahmen sich in der Nähe sehr großer, erst in verhältnismäßig junger Zeit entstandener Senkungsfelder befinden.

Im großen lassen sich also die Thatsachen so zusammenfassen: Ansteigen des Landes um die Pole, Vorschreiten des Meeres um den Äquator als allgemeine Regel, daneben einige wirkliche oder vermeintliche Ausnahmen, die jedenfalls in verschwindender Minderzahl sind. Das Urteil, welches daraus folgt, wird also nur dahin lauten können, daß jene allgemein

verbreitete Erscheinung einer gemeinsamen, allgemein wirkenden Ursache zugeschrieben werden muß, daß aber die Ausnahmen, ihre Richtigkeit vorausgesetzt, zeigen, daß außerdem in untergeordnetem Maße noch andre Faktoren Verschiebungen der Strandlinie, speziell sogenannte Hebungen ohne sichtbare Störung der Lagerungsverhältnisse, bewirken können.

Es fragt sich nun, ob wir jene allgemeine Art der Bewegung für Hebung und Senkung des Landes oder für ein Schwanken des Wasserspiegels halten sollen. Für die erstere Auffassung wäre es entscheidend, wenn durch unmittelbare Beobachtung festgestellt werden könnte, daß unter den Augen der Menschen ein Stück Küste an irgend einer Stelle aufgetaucht und untergesunken wäre, ohne daß dieser Erscheinung eine über sehr weite Strecken reichende Verbreitung zukäme, wie dies sein müßte, wenn eine Änderung des Meeresspiegels die Ursache gewesen wäre. In der That werden einzelne solche Fälle erwähnt; weitaus der bekannteste, der überall als Beweis für Hebung und Senkung des Landes angeführt wird, ist der des Serapistempels bei Puzzuoli am Golfe von Neapel. Wohl die meisten Besucher Unteritaliens haben diesen merkwürdigen Punkt kennen gelernt und die drei hohen, noch aufrecht stehenden Säulen betrachtet, gewaltige Monolithen, welche bis zu etwa $3^1/_2$ m über dem Boden glatt und unversehrt, darüber aber in einem breiten Gürtel von fast 3 m angewittert und von Bohrmuscheln (Lithodomus dactylus), die nur im Salzwasser leben, durchlöchert sind. Die erste Erwähnung des Tempels stammt aus dem Jahre 105 v. Chr.; im Jahre 205 n. Chr. stand er noch unversehrt. Später muß er in Verfall geraten sein, Schutt, vulkanische Materialien und Süßwasserablagerungen bedecken den Boden bis zu einer Höhe von $3^1/_2$ m. Dann soll das ganze Bauwerk untergetaucht sein bis zu dem Niveau, welches durch die obersten Löcher der Bohrmuscheln angegeben wird. Später erhob er sich wieder über den Wasserspiegel, und zwar soll dies ziemlich rasch um die Mitte des 16. Jahrhunderts bei Gelegenheit des Ausbruches des Monte Nuovo geschehen sein, eine Angabe, die wohl mit Mißtrauen aufzunehmen ist (s. Abbildung, S. 354).

Der Boden des Tempels liegt heute etwa 1 Fuß tiefer als der Meeresspiegel. Die Säulen stehen nicht ganz senkrecht, und der Boden soll nicht genau horizontal sein; der Grund mag also eine leichte Gleitbewegung nach abwärts ausgeführt haben. Immerhin sollte nach der Lage der Bohrlöcher das Meer an den Säulen $6^1/_2$ m über den heutigen Stand emporgereicht haben. Diese Auffassung ist aber nicht bewiesen, und Goethes Ansicht, daß sich hier ein Salzwassertümpel, umgeben von Schutt und vulkanischer Asche, gebildet, in welchem die Bohrmuscheln gelebt haben, ist mindestens ebenso wahrscheinlich. Wenn wir aber auch annehmen, daß hier eine Schwankung der Strandlinie stattgefunden hat, so ist damit noch nichts über den Charakter der Bewegung bekannt; an mehreren Punkten hat man Anzeichen, daß der Meeresspiegel in Europa in der ersten Zeit des Mittelalters etwas höher war als jetzt, und es wird erst noch eingehender Untersuchungen bedürfen, ehe man sich über die Bedeutung dieser Beobachtungen klar wird.

Als ein zweites Beispiel wird der „Ran" von Kachh im östlichen Mündungsgebiete des Indus angeführt. Der Ran ist eine weit ausgedehnte Ebene mit salzigem Boden, großenteils von Wasser bedeckt. In dieser großen Fläche soll infolge eines großen Erdbebens im Jahre 1819 eine Hebung stattgefunden haben, so daß nun ein Teil des Gebietes den andern überragt und in einer ziemlich bedeutenden, gegen 20 Fuß hohen Terrasse gegen die übrige Niederung absetzt; Ullah-Bund, der „Gottesdamm", wird von den Einwohnern diese unter ihren Augen ohne Menschenarbeit entstandene Abdämmung genannt. Die neuern Untersuchungen der indischen Geologen, namentlich jene von Wynne, haben jedoch ergeben, daß es sich in Wahrheit ganz anders verhält: die erhöhte Partie, welche mit dem Steilrande des Ullah-Bund gegen die tiefere Ebene absetzt, ist vollständig in ihrer ursprünglichen Lage geblieben und nicht aufgestiegen,

sondern die losen schlammigen Massen der Niederung haben eine Gleitbewegung ausgeführt, sie sind abgesunken, und der Ullah-Bund bezeichnet die Grenze, von der an diese Senkung stattgefunden hat.



Der Serapistempel von Puzzuoli. An den drei großen Säulen im Vordergrunde sind unter der Mitte die dunklern von den Bohrmuscheln angenagten Partien zu sehen. Vgl. Text, S. 353.

Ähnlich verhält es sich mit dem dritten Falle, mit den Bewegungen der *südamerikanischen Westküste*. In einem großen Teile ist diese von den riesigen Vulkanen der Andeskette begleitet, überaus zahlreiche und heftige Erdbeben haben die Gegend heimgesucht; der südliche Teil ist durch deutliche, hoch gelegene Muschelbänke, Terrassen und Strandlinien ähnlich jenen Norwegens als „in Hebung begriffen" gekennzeichnet. Hier soll nun die Bewegung nicht immer langsam und unmerklich vor sich gehen, sondern infolge

mächtiger Erderschütterungen soll die chilenische Küste sich mehrmals, namentlich in den Jahren 1822, 1835 und 1837, mit Einem Rucke um mehrere Fuß gehoben haben. Merkwürdigerweise kann man aber über die Thatsache selbst nicht ins klare kommen; eine Anzahl von Reisenden und Augenzeugen behauptet das Stattfinden einer wirklichen Hebung ebenso bestimmt, wie es von andrer Seite geleugnet wird. Dabei treten mehrfache Ursachen hervor, welche eine Täuschung ermöglichen. Reisende kennen die Gegend nicht genau genug, um die wirklich eben erst entstandenen Änderungen sicher zu erkennen. Die Einwohner dagegen sind nicht naturwissenschaftlich geschult und zu wenig ans Beobachten gewöhnt, als daß ihren Aussagen großer Wert beigelegt werden könnte. Im Verlaufe der Jahre können mannigfache Erscheinungen langsam hervortreten; eine Meeresbucht kann durch Sedimente eines Flusses versanden oder das Meer etwas zurückweichen, ohne daß dies auffiele; tritt nun ein heftiges Erdbeben ein, wodurch die Bevölkerung aufgeregt wird, so blicken die Menschen, aus ihrer Ruhe aufgescheucht, ängstlich um sich und suchen nach den Wirkungen der Erschütterung oder nach Anzeichen, ob eine Wiederholung derselben etwa bevorsteht, und dann kommt ihnen jene Änderung, die sich im Laufe der Zeiten allmählich vollzogen, plötzlich zum Bewußtsein, und da nun einmal der Glaube verbreitet ist, daß Erdbeben häufig solche Erscheinungen mit sich bringen, wird denselben ohne weiteres auch diese Wirkung zugeschrieben. Deshalb sind alle Berichte, die später von den Einwohnern gesammelt werden, mit Vorsicht aufzunehmen, und wenn auch die eminente Autorität Darwins sich für die stattgehabte rasche Hebung erklärt hat, so müssen wir doch berücksichtigen, daß er gezwungen war, auf derartige ungenügende Urkunden sich zu stützen.

Um so größerer Wert ist auf die Ansicht E. Philippis zu legen, eines ausgezeichneten Forschers, der Chile seit Dezennien bewohnt; er erklärt, daß ihm aus historischer Zeit keine Thatsache bekannt geworden ist, welche auf eine derartige Hebung deuten würde. Sueß hat in neuester Zeit alle Daten über die südamerikanischen Erdbeben gesammelt und kommt ebenfalls zu dem Ergebnisse, daß kein Bericht vorliegt, welcher einen Beweis für eine rasche Hebung durch Erdbeben beibrachte. Instruktiv ist, was er dabei über die räumliche Verbreitung dieser Erscheinungen in Südamerika sagt:

„Legen wir vor uns eine Karte von Südamerika und denken wir uns den großen Kontinent von Norden nach Süden nach der Linie der größten Länge und ebenso von Westen nach Osten nach der größten Breite in vier Teile geteilt. Es zeigt sich nun, daß der südwestliche Teil Südamerikas, jener, der Chile umfaßt, und von dem hier vorzugsweise die Rede war, Vulkane bietet und Erdbeben und Terrassen; der südöstliche zeigt Terrassen, aber keine Vulkane und nur sehr selten Erdbeben; der nordwestliche hat Vulkane und Erdbeben, aber keine Terrassen; der nordöstliche hat Erdbeben, aber keine Vulkane und keine Terrassen.“

Es geht daraus wohl klar hervor, daß Terrassenbildung, d. h. das unzweifelhafte Zeichen einer negativen Bewegung der Strandlinie, in keinem notwendigen ursachlichen Zusammenhange mit den Erdbeben steht, und daß somit auch in Südamerika noch kein Beweis für wirklich aktiv aufsteigende Bewegung des Landes vorhanden ist.

Einen andern Beweis für die thatsächliche Hebung des Landes sollte der Verlauf der norwegischen Terrassen und hoch gelegenen Strandlinien liefern. Vor längerer Zeit hat ein französischer Forscher, Bravais, die Terrassen im nördlichen Teile des Landes untersucht und angegeben, daß dieselben nicht parallel in überall sich gleichbleibenden senkrechten Abständen verlaufen, sondern an einem Punkte näher aneinander, an einem andern weiter voneinander entfernt liegen, wie sie sich nur durch ein ungleichmäßiges Aufsteigen des Landes bilden konnten; aber die neuern Untersuchungen der norwegischen Geologen scheinen die Beobachtungen von Bravais nicht zu bestätigen.

Wenn wir auf das bisher Gesagte zurückblicken, so ergibt sich, daß ein direkter Beweis durch unmittelbare Beobachtung weder für die Verschiebung des Wasserspiegels noch für das Steigen und Sinken des Landes vorhanden ist. Der gegenseitige Stand beider, die Lage der Strandlinie, verändert sich; ob aber die Bewegung das Land oder das Wasser betrifft, das ist noch nicht mit absoluter Sicherheit zu entscheiden. Die Thatsachen sind demnach nicht geeignet, alle jene Bedenken zu zerstreuen und zu widerlegen, welche anfangs gegen die Annahme von kontinentalen Bewegungen vorgeführt wurden, sondern lassen dieselben vielmehr in verstärktem Maße gelten. War schon früher nicht einzusehen, welche Kraft eine Hebung der Kontinente oder des Meeresbodens hervorbringen sollte, so wächst die Schwierigkeit bei der Erkenntnis, daß, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Änderungen offenbar in einem strengen Abhängigkeitsverhältnisse von der geographischen Lage, speziell von der Polhöhe, stehen, welches sonst in den Massenbewegungen der Erde nirgends hervortritt. Wenn wir der Hauptsache nach unter der Annahme des Gleichbleibens des Meeresspiegels zu einer Verminderung der Abplattung der Erde geführt werden, wie sie dem Wesen nach von Howorth gefolgert worden ist, so müssen wir sagen, daß nach allen unsern Vorstellungen ein solcher Vorgang kaum möglich scheint, und ebenso führt uns die oszillierende Beschaffenheit der Verschiebung, das Stattfinden von Zwischenbewegungen, zu einer Art der Formveränderung, die wir weit eher bei dem flüssigen Elemente des Wassers als bei der festen Erdrinde begreiflich finden.

Veränderlichkeit des Meeresspiegels.

Wenn der Hypothese von Hebung und Senkung der festen Erdrinde nach allen Richtungen die größten Schwierigkeiten entgegenstehen, so dürfen wir uns auf der andern Seite nicht verheimlichen, daß auch die Annahme einer Veränderlichkeit des Wasserspiegels durchaus keine einfache Lösung der Frage bietet, und daß auch ihr eine Reihe erheblicher Bedenken entgegensteht. Die Verhältnisse sind hier so verwickelter Art, daß wir nur einige der wichtigsten Punkte hervorheben können; gelangen wir dabei auch zu keiner endgültigen Lösung des Problemes, so gewinnen wir doch die eine Überzeugung, daß die Gestalt der Meeresoberfläche weit weniger gesetzmäßig ist und weit unregelmäßiger schwankt, als man in der Regel annimmt.

Von vielen Seiten hat man einen wesentlichen Einfluß auf den Stand des Meeresspiegels einer steten Verminderung der Wassermenge auf der Erdoberfläche zugeschrieben. Schon früher (s. S. 96) wurde die Frage eingehend besprochen und das Resultat gefunden, daß zwar durch eine Reihe von Vorgängen, durch die Bildung von wasserhaltigen Mineralien, durch Versickern in die Tiefe, dem Kreislaufe fortwährend Wasser entzogen wird, daß aber anderseits durch die Vulkane und ihre Dampfausströmungen unaufhörlich der Verlust ersetzt wird. Es liegt nicht der geringste Anhaltspunkt vor, um eine Vermehrung oder Verminderung der Wassermenge seit den frühsten versteinerungsführenden Formationen anzunehmen, und um so mehr haben wir bei den sehr jungen Veränderungen, die hier in Betracht kommen, mit einer sich gleichbleibenden Menge zu rechnen, da Änderungen, wenn sie überhaupt vorkommen, jedenfalls viel zu geringfügig sind, um innerhalb des kurzen Zeitraumes, um den es sich handelt, von irgend welcher Bedeutung zu sein.

Es könnte also nur die verschiedene Verteilung des Wassers Schwankungen des Meeresstandes an den verschiedenen Küsten hervorbringen. Lange Zeit hindurch war man der Ansicht, daß die Oberfläche des Meeres eine durchaus regelmäßige geometrische Gestalt bilde, daß sie genau einem Rotationsellipsoide entspreche (s. S. 119).

Neuere Untersuchungen haben jedoch die Unrichtigkeit dieser Ansicht ergeben und gezeigt, daß die Anziehung der Kontinente auf das Wasser des Ozeanes sehr bedeutende Unregelmäßigkeiten verursacht, indem ein allgemeines, sehr erhebliches Ansteigen des Meeresspiegels gegen die Ränder der Festländer stattfindet.

Es ergibt sich daraus sofort, daß nicht nur zwischen der Küste und der hohen See bedeutende Differenzen existieren, sondern daß auch zwischen den einzelnen Küsten ganz namhafte Unterschiede herrschen müssen. Ein kleiner Kontinent übt natürlich schwächere Anziehung als ein großer, ein Hochgebirge oder ein Plateau mehr als eine Tiefebene, und so kann man mit Sicherheit annehmen, daß z. B. die jetzige Strandlinie einen ganz unregelmäßigen Verlauf hat. Auch durch Messung ist das unmittelbar festgestellt: der Spiegel des Mittelmeeres liegt z. B. etwas niedriger als jener des Atlantischen Ozeanes, und selbst in einem und demselben Meeresbecken sind erhebliche Unterschiede nachgewiesen. So haben genaue Untersuchungen des Meeresniveaus rings um Irland deutliche Differenzen des Wasserstandes an verschiedenen Punkten der Küste ergeben.

Wenn wir uns nun der Frage zuwenden, welche Vorgänge Änderungen des Wasserstandes mit sich bringen können, so müssen wir in erster Linie die Wirkungen der gebirgsbildenden Kräfte in Betracht ziehen, jene großen Massenbewegungen, welche sich aus der Abkühlung des Erdkörpers ergeben. Als die großartigste dieser Erscheinungen haben wir das Absinken großer Striche an Verwerfungsspalten kennen gelernt. Die in dieser Weise entstandenen Senkungsfelder werden mit Wasser ausgefüllt, das Meer okkupiert nun vorher trockne Gebiete, es wird also seichter werden müssen. Es wurde schon erwähnt, daß die großen Senkungsfelder, welche in spätdiluvialer und jungtertiärer Zeit entstanden sind, ein ganz namhaftes Sinken des Meeresspiegels über die ganze Erde hin mit sich gebracht haben müssen. Allein noch eine weitere Wirkung müssen solche Senkungen mit sich bringen: durch sie wird lokal die Masse des Kontinentes vermindert, in dessen Flanken das Senkungsfeld eingreift, es wird also das Wasser hier etwas weniger stark angezogen werden, und es wird außer dem allgemeinen noch ein spezielles, örtliches Sinken des Wasserspiegels eintreten. Bildet sich anderseits durch Faltung ein Gebirge, so wird die Masse des Kontinentes erhöht, und da die Mehrzahl der neugebildeten Gebirge in der Nähe der Küste stehen, so werden sie ein beschränktes, örtliches Ansteigen des Meeres mit sich bringen.

Ein zweiter beeinflussender Vorgang ist die Verwitterung und Abtragung der Festländer. Man kann ungefähr annehmen, daß die Kontinente auf diesem Wege im Durchschnitte in 6000 Jahren um 1 Fuß erniedrigt werden, während das entsprechende Material dem Meere zugeführt und dessen Niveau dadurch zum Steigen gebracht wird. Allerdings wird das nur sehr langsam erfolgen, denn da die Oberfläche des Meeres ungefähr 2,75mal größer ist als die des Landes, so wird es gegen 16,500 Jahre dauern, bis auf diesem Wege der Wasserspiegel nur um 1 Fuß ansteigt. Während aber diese Erhöhung die gesamten Meere der Erde betrifft, wird anderseits durch die Abwitterung natürlich die Masse der Kontinente und dadurch das Ansteigen der Meere gegen deren Küsten vermindert.

Endlich ist noch ein Faktor von großer Bedeutung zu erwähnen. Wir werden uns in einem spätern Abschnitte noch eingehend mit der Frage zu beschäftigen haben, ob die Erdachse immer genau die Stellung einnimmt und eingenommen hat wie jetzt, oder ob sie nicht etwa im Laufe der geologischen Perioden eine Verschiebung erleidet. Wir können hier auf diese schwierige Frage nicht näher eingehen und wollen nur daran erinnern, daß ein ausgezeichneter Astronom, Schiaparelli in Mailand, betont hat, eine Veränderung der Lage der Erdachse müsse vom astronomischen Standpunkte aus als möglich bezeichnet werden, und ein Einwand könne von dieser Seite nicht erhoben werden, wenn vom geologischen Standpunkte aus die Wahrscheinlichkeit einer solchen Veränderung nachgewiesen

werden könne. Allerdings sind die Ergebnisse der Geologie der Annahme einer sehr bedeutenden Änderung nicht eben günstig, dagegen ist es sehr wohl möglich, daß eine Verschiebung um einige Grade stattgefunden hat. Ist es ja doch eine Thatsache, daß astronomische Observatorien, für welche seit längerer Zeit genaue Ortsbestimmungen vorliegen, im Laufe der Zeit ihre geographische Lage um einen meßbaren Betrag geändert haben, was nur durch eine Verschiebung der Erdachse erklärt werden kann.

Nehmen wir nun als Beispiel den Fall an, daß der Nordpol sich etwa um 3° in der Richtung gegen Spitzbergen verschoben habe, so ist es klar, daß infolge der Abplattung an dieser Stelle selbst ein Sinken des Wasserspiegels stattfinden müßte; ebenso würde er südlich von Spitzbergen gegen den Atlantischen Ozean sinken, während er auf der andern Seite gegen die Beringsstraße ansteigen würde. Wir wollen die Art und Weise, wie das geschehen würde, hier nicht eingehender verfolgen; es genügt, darauf aufmerksam zu machen, daß auch auf diesem Wege eine ziemlich verwickelte Verschiebung der Strandlinie eintreten müßte.

Alle die verschiedenen Einflüsse sind allerdings nicht im stande, jene der jüngsten Zeit, der diluvialen Formation und der Jetztzeit angehörigen Verschiebungen zu erklären, die oben geschildert wurden. Ein Zuströmen des Wassers gegen den Äquator und ein Abfließen von den Polen kann auf diese Weise nicht verursacht werden. Dagegen gibt uns ohne Zweifel die Erscheinung des fortwährenden Rückganges des Meeresspiegels infolge der Entstehung und Überflutung von Senkungsfeldern den Schlüssel dafür an die Hand, daß wir überall horizontal gelagerte Ablagerungen älterer Formationen auf trocknem Lande bis zu beträchtlichen Höhen hinauf finden. Wir können in dieser Beziehung unsre Kontinente etwa mit dem Schwarzwalde, den Vogesen oder einem andern jener zwischen Bruchlinien stehen gebliebenen Pfeiler vergleichen.

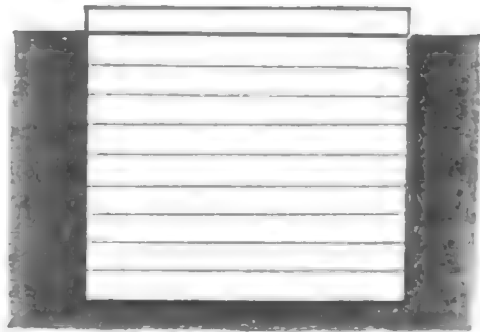
Für die hier zunächst in Rede stehenden Fragen geht aus den bisherigen Auseinandersetzungen vor allem das eine hervor, daß der Verlauf der Strandlinien ein äußerst verwickelter ist und den mannigfaltigsten Einflüssen unterliegt, und daß Änderungen desselben, weit entfernt davon, über ungeheure Strecken mit vollendeter Regelmäßigkeit aufzutreten, im Gegenteile große Schwankungen und Unregelmäßigkeiten aufweisen müssen. Damit fällt allerdings das Hauptargument weg, welches man in der Regel einer Erklärung der Schwankungen durch Verschiebung des Meeresspiegels entgegensetzt; wie aber gerade die hier in Betracht kommenden Bewegungen entstanden sein können, darüber haben wir noch keinen Aufschluß, und wir müssen auch eingestehen, daß unter den verschiedenen aufgestellten Hypothesen keine ganz befriedigen kann. Eine Gruppe von Vermutungen, die wenigstens in den Grundzügen viel miteinander gemein haben, nimmt an, daß infolge der regelmäßigen Änderungen, welche in Beziehung auf die Exzentrizität der Erdbahn, auf die Präzession der Tag- und Nachtgleichen stattfinden, abwechselnd auf der nördlichen und auf der südlichen Halbkugel Kälteperioden, Eiszeiten, eintreten. Infolgedessen finden massenhafte Anhäufungen von Eis um den einen Pol statt, die nun auch ihrerseits das Wasser durch ihre Masse anziehen und dadurch ein Ansteigen desselben gegen den einen Pol bewirken; bei dieser Gelegenheit werden natürlich alle die Phänomene entstehen können, welche wir in der zirkumpolaren Region beobachten.

Gegen diese Hypothese spricht jedoch, abgesehen von wichtigen andern Einwürfen, die unmittelbare geologische Beobachtung. Es gibt hoch gelegene Terrassen aus sehr junger Zeit sowohl in der Umgebung des Südpoles als in jener des Nordpoles; in beiden Regionen sehen wir dieselben immer niedriger abgestuft sich allmählich dem heutigen Meeresniveau nähern und finden in den untersten Stufen Verhältnisse, welche zeigen, daß diese Stufen aus einer der Jetztzeit unmittelbar vorhergehenden Periode stammen. Alle Beobachtungen ergeben, daß die Terrassen des Nordens und des Südens gleichzeitig sind, während jene Hypothesen

es als eine notwendige Konsequenz mit sich bringen, daß die Eiszeiten und somit die hohen Wasserstände abwechseln müßten.

In neuerer Zeit hat Penk darzuthun gesucht, daß eine gleichzeitig an beiden Polen eintretende Vergletscherung, wie sie während der Eiszeit vorhanden war, Terrassenbildung zu erklären im stande sei. Aus den Beschreibungen der Reisenden über das Innere von Grönland, Spitzbergen und andern größern und bergigen Landmassen der Polarländer geht hervor, daß diese mit ungeheuern Eismassen bedeckt sind, die als eine mächtige Hülle Berg und Thal vollständig überkleiden. Über weite Strecken breitet sich dieses „Inlandeis", von den jährlichen Schneefällen genährt, aus, während seine Massen sich gegen die Ränder zu bewegen, hier teilweise abschmelzen oder Gletscher bis ins Meer senden, deren Enden sich loslösen und als Eisberge auf der Oberfläche des Ozeanes schwimmen.

In der Jetztzeit mögen auf der nördlichen Halbkugel, soweit wir die Polarregionen kennen, etwa 40,000 □Meilen auf diese Weise von Eiswüsten bedeckt sein, bedeutend größere Flächen scheinen auf den Festlandsmassen um den Südpol vereist, deren Ausdehnung auf 250,000 □Meilen veranschlagt wird. Über die Dicke dieser kolossalen Gletschermassen haben wir keine unmittelbaren Messungen, aber Anhaltspunkte zu einer Schätzung liefern uns die im Meere schwimmenden Eisberge. Man hat in der Nähe des Südkontinentes Eisberge im Meere schwimmen gesehen, welche 100 m über den Wasserspiegel hervorragten, und da das spezifische Gewicht ungefähr neun Zehntel von jenem des Seewassers beträgt, so muß man die Gesamtdicke solcher Massen auf 1000 m anschlagen. 1000 m dürfen wir also mit Sicherheit für die Mächtigkeit des südpolaren Inlandeises in Rechnung bringen, und dasjenige der Nordländer dürfte kaum viel dahinter zurückbleiben.



Schema eines schwimmenden Eisberges, welches das Verhältnis der untergetauchten zu der über das Wasser hervorragenden Partie zeigt.

Die Masse des Inlandeises auf beiden Halbkugeln zusammen wird von Penk auf etwas mehr als 1 Prozent der ganzen Wassermenge des Meeres geschätzt, eine Annahme, die sich zwar der Natur der Sache nach nicht auf sehr präzise Daten stützt, aber doch auf ziemlich wahrscheinliche Voraussetzungen gegründet ist. Sehr viel größer müssen die Eismassen während der Glazialzeit gewesen sein. Bekanntlich war damals ganz Skandinavien in derselben Weise vereist wie heute Grönland. Die Eismassen, die von hier ausgingen, füllten das ganze Becken der Ostsee aus, sie bedeckten die ganze norddeutsche Hochebene bis zu den mitteldeutschen Gebirgen, an deren Fuße sie Lokalgletschern begegneten, die von der Höhe dieser Gebirge herabstiegen. Von Holland bis an den Fuß der galizischen Karpaten und von da bis weit hinein nach Rußland erstreckte sich die ungeheure Eiswüste und verbreitete Blöcke von schwedischen Graniten und Schichtgesteinen, welche durch die Bewegung des Eises fortgetragen wurden. Riesige Gletscher entwickelten sich in den Alpen, die weit über die Grenzen dieses Gebietes hinausreichten und einen großen Teil der Donauhochebene bedeckten, ja in der Schweiz sogar über die Päſſe des Juragebirges hinweggingen. Die Karpaten, der Schwarzwald, die Vogesen, Pyrenäen, der Kaukasus waren selbständige Zentren der Vereisung. Dasselbe war der Fall mit den britischen Inseln, ja es wird sogar angegeben, daß das Inlandeis Norwegens die ganze Nordsee ausgefüllt und bis an die schottische Küste skandinavische Gletscherblöcke geschoben habe. Daß in den noch weiter im Norden gelegenen gebirgigen Ländern ähnliche Erscheinungen auftreten, braucht kaum erwähnt zu werden; Spitzbergen, Grönland, Nowaja Semlja, Franz Josephs-Land, Island waren

gänzlich vereist. Nordenskjöld, der berühmte Erforscher des hohen Nordens, ist sogar der Ansicht, daß die von diesen Herden ausgehenden Eismassen auch das zwischen ihnen gelegene Becken des Nördlichen Eismeeres ganz erfüllt haben. Da es sich dabei um ein sehr seichtes Meer handelt, ist diese Annahme ebenso wie für die Nord- und Ostsee nicht unmöglich, während ein derartiger Vorgang für ein tiefes ozeanisches Becken aus naheliegenden Gründen nicht denkbar wäre.

Tiefebenen sind, soweit die Erfahrung reicht, und soweit wir die theoretischen Voraussetzungen zu überblicken vermögen, nicht geeignet, selbständige Eismassen zu entwickeln, und in der That scheint die sibirische Ebene keine solchen beherbergt zu haben. Dagegen waren solche in Nordamerika in ganz gewaltigem Maßstabe vorhanden und vielleicht verhältnismäßig noch ausgebreiteter als in Europa. Auf der südlichen Halbkugel endlich herrschte, abgesehen von dem Südkontinente, namentlich im südlichen Teile von Südamerika, auf Neuseeland und Tasmanien, mächtige Vereisung.

Es ist natürlich nicht möglich, die Wassermenge auch nur einigermaßen genau zu berechnen, welche dem Meere entzogen und zur Bildung jener Eismassen der Diluvialzeit verwendet wurde. Jedenfalls aber muß dieselbe mehrfach größer gewesen sein als die heute in dieser Weise gebundene Wassermenge, und man kann ein ganz erhebliches Sinken des Meeresspiegels infolge dieses Verlustes annehmen. Außerdem aber zogen die Massen des Inlandeises das Wasser entsprechend ihrem Gewichte an und veranlaßten ein Steigen des Wassers und der Strandlinien an den vereisten Küsten.

Durch diese Vorgänge wird in erster Linie eine Verminderung der Wassermenge in den äquatorialen Gegenden, ein tieferer Stand des Meeresspiegels bedingt, wie ihn die erwähnten (s. S. 349) Beobachtungen an den Korallenriffen bezeugen. In den vereisten Regionen aber wird einerseits die allgemeine Erniedrigung des Meeresspiegels durch Entnahme von Wasser ein Sinken, die Anziehung der Eismassen dagegen ein Steigen der Strandlinie hervorrufen, und es wird von heute noch kaum zu überblickenden Verhältnissen abhängen, welcher von diesen beiden Faktoren den andern überwiegt. Penk ist der Ansicht, daß auf dem Höhepunkte der Eiszeit so gewaltige Wassermengen dem Meere entzogen waren, daß trotz der Anziehung des Inlandeises die Strandlinie nicht höher oder wahrscheinlich sogar niedriger stand als heute, daß aber während des Rückganges der Vergletscherung die Verhältnisse sich änderten und ein sehr bedeutendes Ansteigen der Strandlinie stattfand. Zu einem bestimmten Urteile hierüber sind die positiven Anhaltspunkte noch nicht ausreichend, und sehr zweifelhaft muß es scheinen, ob jenes Maß des Ansteigens und die höchst gelegenen Terrassen auf diese Weise erklärt werden können, mit andern Worten, ob die angegebenen Ursachen quantitativ das zu leisten im stande sind, was von ihnen vorausgesetzt wird. Dagegen scheint kaum ein Zweifel darüber zulässig, daß die angegebenen Vorgänge wirkliche sind; jedenfalls müssen sie bei jedem Erklärungsversuche vollauf berücksichtigt werden. Wir sehen hier einen ganz unzweifelhaften Faktor vor uns, der, von allen Bewegungen des Festen unabhängig, Veränderungen der Strandlinie hervorzubringen im stande ist.

Von Sueß ist die Möglichkeit kurz angedeutet worden, daß Änderungen in der Rotationsgeschwindigkeit der Erde von Einfluß gewesen sein können. Es ist natürlich, daß eine Beschleunigung der Umdrehung der Erde um ihre Achse, mit andern Worten ein Kürzerwerden des Tages, durch Verstärkung der Fliehkraft ein Abströmen des Wassers von den Polen gegen den Äquator bedingen, also ähnliche Erscheinungen mit sich bringen mußte, wie sie die Terrassen der hohen Breiten und die Korallenriffe der Äquatorialzone zeigen. Doch stehen einer solchen Annahme manche große Schwierigkeiten vom physikalischen Standpunkte aus entgegen, so daß die Äußerung einer bestimmten Ansicht noch bis auf weiteres aufzuschieben sein wird.

Wenn wir das Ergebnis aus dem Bisherigen zusammenfassen wollen, so lautet dasselbe dahin, daß die Existenz von Vorgängen zugegeben werden muß, welche ohne wesentliche Einwirkung einer Hebung oder Senkung die Veränderungen der Küstenlinien seit Beginn der Diluvialzeit der Hauptsache nach durch Schwankungen im Wasserstande zu erklären vermögen, und daß der Charakter der Verschiebungen weit mehr mit der letztern als mit der erstern Annahme im Einklange steht. Die überwiegende Wahrscheinlichkeit spricht für Verschiebung des Wasserspiegels, welche Auffassung wir in auffallender Weise bestätigt finden, wenn wir analoge Erscheinungen aus frühern Perioden vergleichen.

Eine Betrachtung der geographischen Verbreitung der ältern Formationen ergibt eine Anzahl auffallender Thatsachen, auf deren Bedeutung namentlich Sueß großen Nachdruck gelegt hat. Es gibt gewisse Ablagerungen, welche dadurch ausgezeichnet sind, daß sie in vielen Gegenden ein viel größeres Areal einnehmen als die ihnen im Alter unmittelbar vorangehenden; sie greifen über die Grenzen dieser weit hinaus und dehnen sich in großen Gebieten auf bedeutend ältere Gesteine, oft in ungleichmäßiger Lagerung, aus. Man nennt diese Art des Vorkommens ein Übergreifen oder eine Transgression. So fehlt dem ganzen nördlichen Teile der nördlichen Halbkugel der untere Teil der Juraformation, der Lias, in mariner Entwickelung, und mittlerer oder oberer Jura liegt an zahllosen Punkten übergreifend auf ältern Gebilden. Die obern Teile der Kreideformation[1] von der Cenomanstufe an aufwärts haben eine viel größere Verbreitung als die ältern Kreideablagerungen und liegen sehr häufig übergreifend auf Ablagerungen vom ältesten Urgebirge bis hinauf zum Jura, wie Sueß das eingehend geschildert hat. Im nördlichen Europa findet man in Schottland und Irland mehrfach kleinere Schollen oberer Kreide in der angegebenen Lagerung; in England und im nördlichen Frankreich liegt sie weithin ganz normal auf der untern Kreide, aber sie reicht über deren Grenze hinaus und greift auf Ablagerungen der Devonformation, der Trias und des Jura über. In ganz Skandinavien, in Sachsen, Böhmen, in der Gegend von Regensburg, in den außeralpinen Teilen von Schlesien, Mähren und Galizien fehlt die untere Kreide, und verschiedene Glieder der obern Kreide liegen auf kristallinischem Gesteine, auf paläozoischen Ablagerungen, auf Trias oder Jura auf. Im Gebiete der Mittelmeerländer, in Kalabrien, der Balkanhalbinsel, in Nordafrika, Syrien, Kleinasien, und vermutlich auf der ganzen Strecke bis nach Afghanistan wiederholt sich dieselbe Erscheinung, und im Süden der Indischen Halbinsel liegen überaus fossilreiche Ablagerungen der obern Kreide unmittelbar auf weit ältern Gesteinen auf. Ebenso verhält es sich in gewissen Gegenden Südafrikas und vermutlich auch in den Amurgegenden und in Japan. In Nordamerika haben die östlichen Staaten von Texas bis New Jersey nur obere, keine untere Kreide, und auch in einem großen Teile der Weststaaten zeigt sich dasselbe Verhältnis, das ebenfalls in Mexiko, auf den westindischen Inseln und in Brasilien wiederkehrt.

So großartige Verhältnisse finden sich wohl in andern Formationen nicht wieder, aber in etwas geringerm Maße lassen sich solche Transgressionen, z. B. in der obersten Abteilung der obern Trias, der sogenannten rätischen Stufe, im Oligocän ꝛc., verfolgen, während z. B. der Lias, d. h. die untere Abteilung des Jura, und die untere Kreide keine derartigen Erscheinungen enthalten.

War es uns schon nicht möglich, für die uns weit näher gelegenen Veränderungen aus der Diluvialzeit die Ursachen genau anzugeben, so steigert sich die Schwierigkeit noch bei

---

[1] Die Kreideformation wird von oben nach unten in folgende Glieder eingeteilt: a) Senonstufe (nach der gallischen Völkerschaft der Senonen). — b) Turonstufe (nach der Touraine in Frankreich). — c) Cenomanstufe (nach der Stadt Le Mans oder Cenomanum). — d) Gaultstufe (englischer Lokalname). — e) Neokomstufe (Neocomum, lateinischer Name von Neufchâtel).

diesen ältern Vorkommnissen. So viel kann man aber wohl mit Bestimmtheit sagen, daß die gewaltige Transgression der obern Kreide und die verwandten Erscheinungen nicht auf örtliche Senkungen aller der oben genannten Länder zurückgeführt werden dürfen, sondern daß nur allgemeine Verschiebungen des Meeresspiegels eine befriedigende Lösung geben können.

Alter der Festländer.

Es wurde hervorgehoben, daß die Kontinente uns verschiedene Probleme zur Lösung aufgeben. Das eine haben wir so weit verfolgt, wie es bei dem heutigen Stande unsrer Kenntnisse möglich war; sofort schließt sich eine zweite Frage an, ob die Lage der Festländer und Meeresbecken wenigstens in ihren großen Hauptzügen seit unvordenklichen Zeiten sich gleichgeblieben ist, oder ob dieselbe wesentliche und tief greifende Veränderungen erleidet.

Im Anschlusse an die Lehre von den säkularen Hebungen und Senkungen, wie sie von Playfair und Leopold von Buch aufgestellt worden war, hat sich die Ansicht herausgebildet, daß in diesen Erscheinungen die einzelnen schwachen Anzeichen großer Bewegungen vorliegen, welche im Laufe der Zeit ganze Kontinente bis zum Meeresgrunde versenken und an ihrer Stelle andre emporbringen. Namentlich Lyell hat diese Ansicht sehr entschieden vertreten und ins einzelne ausgeführt, er hat sogar versucht, in diesen Veränderungen in der Lage der Festländer den wesentlichsten Grund für die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit nachzuweisen. Nach ihm hatten die Kontinente und überhaupt die heutige Verteilung von Land und Wasser in der jüngern Tertiärzeit annähernd dieselben Grundzüge der Gestaltung, was er insbesondere daraus folgert, daß viele Kontinente und Inseln ihre eigentümlichen Tier- und Pflanzengruppen besitzen, z. B. Südamerika die Faultiere und Gürteltiere, Australien die Beuteltiere ꝛc. Aber die Grenzen dieser zoogeographischen Provinzen verwischen sich schon, wenn wir sie bis ins Miocän verfolgen, und im ältern Tertiär finden wir eine sehr weit gehende Mischung von Typen, welche jetzt ganz verschiedene Gegenden bewohnen, so daß also für jene Zeit ein derartiger Beweis wegfällt. Die Kontinente sind daher für einzelne geologische Formationen konstant, aber sie ändern sich im Verlaufe längerer geologischer Perioden so vollständig, daß die Landverteilung nach Ablauf einer solchen mit der frühern auf einer und derselben Halbkugel nicht mehr Ähnlichkeit hat als etwa heute die östliche mit der westlichen Hemisphäre.

Was wir über die Art und Weise der Verschiebung der Grenze zwischen Land und Wasser kennen gelernt haben, ist wenig geeignet, jene Auffassung von Lyell zu unterstützen. Wir haben in erster Linie gesehen, daß die vermuteten Auf- und Abbewegungen des Landes wahrscheinlich nicht existieren; sollten sie aber auch wirklich vorhanden sein, so hat uns doch eine nähere Betrachtung gezeigt, daß höchstens auf eine langsame Verminderung der Abplattung des Erdsphäroides geschlossen werden könnte. Durch derartige Vorgänge aber Veränderungen in der Lage der Kontinente zu erklären, wie sie Lyell voraussetzt, ist ein Ding der Unmöglichkeit.

Schon früh haben mehrere Forscher die Ansicht ausgesprochen, daß die Festländer und Meeresbecken sich in ihren Hauptzügen von jeher gleichgeblieben sind. Diese Auffassung vertritt z. B. der ausgezeichnete amerikanische Forscher Dana, und in neuerer Zeit haben sich namentlich Geikie, Wallace und andre in diesem Sinne ausgesprochen. Dieselben stellen allerdings fortwährende, sehr langsam verlaufende Hebungen und Senkungen nicht in Abrede; bald sollen sie diese, bald jene Gegend betreffen und auf diese Weise das Auftreten horizontal gelagerter Meeressedimente hoch auf dem Festlande veranlassen. Aber alle diese

Änderungen sollen nur gering sein, so daß nie ein Teil der heutigen Festländer Tiefsee gewesen sei, und daß die Sockel der Festländer, wenn auch stellenweise vom Meere überflutet, stets untermeerische Höhen gebildet hätten.

Das Hauptargument dieser Auffassung bildet die Natur der Schichtgesteine. In einem spätern Kapitel soll gezeigt werden, daß die Massen von Sand, Schlamm, überhaupt von Sinkstoffen, welche ins Meer gelangen, nicht weit von der Küste zur Ablagerung kommen; in größere Entfernung vom Lande geraten sie nicht, dort finden wir nur kalkige und kieselige Absätze, die ausschließlich durch die Panzer-, Skelett- und Schalenteile von Tieren und Pflanzen gebildet werden. Die größten Tiefen endlich werden von überaus feinem, rotem Schlamme eingenommen, der wesentlich durch die feinsten Teile vulkanischer Aschenausbrüche und durch Meteorstaub des Weltraumes gebildet wird und häufig Haifischzähne, Schädelknochen von Walen und Mangankonkretionen enthält. Ein großer Teil der Schichtgesteine des Festlandes gehört ohne Zweifel der ersten Gruppe an, welche in den heutigen Meeren einen Gürtel von durchschnittlich 20, in den äußersten Fällen 50 geogr. Meilen um die Festländer bilden; aber daneben fehlen auf dem trocknen Lande durchaus nicht Gesteine, die sich weiter vom Lande entfernt und in tiefem Wasser gebildet haben müssen. Die weiße Schreibkreide, die Jurakalke mit Schwämmen, Cephalopoden und Brachiopoden, wie sie in der Ostschweiz, in Schwaben, Franken ꝛc. auftreten, die mannigfachen Ammoniten- und Brachiopodenkalke, wie sie in den mesozoischen Bildungen der Alpen und Karpaten so verbreitet auftreten, und eine Menge andrer Gesteine gehören jener tiefern Region an, welche vorwiegend durch Organismen gebildete Absätze beherbergt. Auch die wesentlich aus Radiolarienskeletten und Schwammnadeln zusammengesetzten Hornsteinschichten müssen nach den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung hierher gerechnet werden. Es bleiben nun noch die roten Thone der größten Tiefen, deren vollständiges Fehlen auf trocknem Lande mit Bestimmtheit behauptet und als ein Beweis ersten Ranges für die Beständigkeit der Kontinente angeführt wird. Man erwartete wohl, mächtige Ablagerungen eines sehr feinen Schieferthones, erfüllt von Haifischzähnen und Manganknollen, finden zu müssen, und daß das in der Regel nicht der Fall ist, mag unbedenklich zugegeben werden. Aber nicht zu allen Zeiten hat es große Haifische in bedeutender Anzahl gegeben, und es ist auch durch nichts bewiesen, daß der Manganreichtum, welcher heute die größten Tiefen auszeichnet, von jeher ein Charakter derselben gewesen sei. Unter diesen Umständen wird man sich fragen können, ob nicht etwa jene überaus feinkörnigen Thongesteine, welche an manchen Punkten die älteste Trilobitenfauna umschließen, als solche Tiefseegesteine zu betrachten sind, und wie wir in einem spätern Kapitel sehen werden, ist dieses in der That sehr wahrscheinlich. Aber auch in jüngern Formationen treten Vorkommnisse auf, welche aller Wahrscheinlichkeit nach mit dem roten Schlamme in Verbindung gebracht werden können. Wenn wir dieselben aufsuchen, müssen wir uns nur immer eine Eigentümlichkeit dieses merkwürdigen Absatzes gegenwärtig halten, nämlich die außerordentliche Langsamkeit, mit der er sich bildet. Es ist bekannt, daß die oberste Lage desselben oft zahllose Zähne von ausgestorbenen Haifischformen enthält, welche in der Tertiärzeit lebten, und daß bei Schleppnetzzügen, die nur wenige Zoll weit die Oberfläche des Thones aufwühlten, oft große Mengen derselben heraufgebracht wurden. Es hat also vielleicht das ganze jüngere Tertiär dort kaum einen Fuß Mächtigkeit.

Ganz ähnlich muß es sich auch in frühern Zeiten verhalten haben. Wenn überhaupt den roten Tiefseethonen entsprechende Gesteine, z. B. aus dem mesozoischen Zeitalter, auf dem festen Lande vorhanden sind, so müssen sie als eine sehr wenig mächtige eisen- oder manganreiche Thonschicht, wahrscheinlich zwischen mächtigen Kalken eingelagert, auftreten. Sie werden einen äußerst unscheinbaren, kleinen Horizont bilden, der schon darum der Beobachtung leicht entgeht, weil er eine leicht verwitterbare, wenig widerstandskräftige Lage

zwischen weit härtern Gesteinen bildet, die in der Regel verstürzt und schlecht aufgeschlossen sein wird. Aus meiner eignen Erfahrung kenne ich eine Ablagerung, die sehr wahrscheinlich in dieser Weise zu deuten sein wird. In einem großen Teile der Alpen und Karpaten ist der obere Jura durch mächtige, an Hornstein und Kalkspatadern reiche, meist weißliche oder lichtgraue Kalke vertreten, in welchen Versteinerungen nur sehr selten vorkommen. Wenn dort überhaupt Organismenreste gefunden werden, sind es fast nur die unter dem Namen Aptychen bekannten Schalenteile der Ammoniten, während die Ammonitengehäuse selbst dort in der Regel nicht gefunden werden. In einem gewissen Gebiete der Karpaten, in den oberungarischen Gespanschaften Zips und Saros, findet sich in diesen mächtigen Kalkmassen, die allgemein als Tiefseebildungen bezeichnet werden, eine dünne Schicht roter, zarter Schieferthone vor, in welchen die in den dortigen Kalken so seltenen Aptychen in großer Menge auftreten. Die wahrscheinlichste Annahme ist die, daß infolge irgend eines natürlich nicht näher bestimmbaren Vorganges hier die Meerestiefe während eines längern Zeitraumes bedeutender wurde, groß genug, um die Auflösung der Kalkschalen zu bedingen und die Bildung von rotem Tiefseeschlamme zu veranlassen. Die Aptychen der Ammoniten bestehen aus einer schwer löslichen Modifikation des kohlensauren Kalkes oder waren durch sehr widerstandskräftiges organisches Gewebe geschützt und häuften sich infolgedessen in derselben Weise und aus denselben Ursachen an wie Haifischzähne und die festesten Walfischknochen im roten Thone der Jetztzeit.

Ein in den Alpen sehr verbreitetes Gestein der Trias- und Juraformation bilden die roten Ammonitenkalke, die leider ihrer chemischen Zusammensetzung und mikroskopischen Struktur nach noch sehr wenig untersucht sind. Nach flüchtigen Versuchen, die ich vor vielen Jahren angestellt habe, sind es meist ziemlich reine Kalke, die durch Beimischung geringer Mengen eines sehr eisenreichen Thones gefärbt sind. Auf den Schichtflächen und sonst vereinzelt im Gesteine tritt dieser bisweilen in dünnen Membranen ziemlich rein auf, und dazu gesellen sich häufig kleine Mangan- und Brauneisensteinknollen. Murray, der die Challenger-Expedition mitgemacht und die bei dieser Gelegenheit gesammelten Meeresgrundproben untersucht hat, fand eine Probe jener alpinen Vorkommnisse den Tiefseevorkommnissen unter allen ihm bekannten Gesteinen am nächsten stehend. In der That ist die wahrscheinlichste Deutung für solche Bildungen die, daß sie in Regionen der mesozoischen Meere entstanden, welche der Grenze zwischen der Tiefenstufe des Kalkschlammes und jener des roten Thones nahe sind, wo je nach den Schwankungen des Wasserspiegels bald die eine, bald die andre Ausbildung dominierte und bei der außerordentlich geringen Menge des in kurzer Zeit sich bildenden roten Thones eine Mengung der beiderlei Materialien stattfand.

Als eine bemerkenswerte Thatsache, welche die hier versuchte Deutung zu unterstützen scheint, verdient hervorgehoben zu werden, daß mesozoische Gesteine, welche als Sedimente großer Tiefe betrachtet werden können, z. B. rote Ammonitenkalke, nie in ungestörter, horizontaler Lagerung auftreten, sondern nur aufgerichtet in den Faltensystemen der Kettengebirge vorkommen. Es geht daraus hervor, daß die Summe des Zurückweichens des Meeresspiegels (oder, wenn man diesen Standpunkt vertreten will, der senkrechten Hebung des Landes) seit der mesozoischen Zeit nirgends bedeutend genug war, um Sedimente an die Oberfläche zu bringen, die dem roten Tiefseethone entsprechen. Nach dem Maßstabe der heutigen Verhältnisse sind das die Regionen von etwa 4000 m abwärts, die Vertikalverschiebung erreicht also dieses Maß, soweit unsre Erfahrungen reichen, seit der Triaszeit nicht; sie kommen nur da zum Vorscheine, wo durch die Aufrichtung und Faltung Gesteine in intensiver Weise aufwärts geschoben sind. Unter den paläozoischen Schichten dagegen sind z. B. die roten Orthocerenkalke des Silur den roten Ammonitenkalken der Alpen ungemein ähnlich und müssen aller Wahrscheinlichkeit nach in derselben Weise aufgefaßt werden. Ist

dies richtig, so kann daraus gefolgert werden, daß seit dem Silur jenes Maß der senkrechten Bewegung in der That erreicht ist, da diese Orthocerenkalke in wagerechter, ungestörter Lagerung vorkommen.

Jedenfalls geht aus dem Gesagten hervor, daß der Hauptbeweisgrund für die volle Beständigkeit der kontinentalen und ozeanischen Regionen nicht in seinem ganzen Umfange richtig ist, und daß wir Ablagerungen aus großen Meerestiefen auf dem Festlande kennen.

Wenn wir uns an die schwierige Aufgabe machen, die wahre Natur der Festländer und Meeresbecken und ihr Alter festzustellen, so gehen wir von einer ganz andern Basis aus als die bisher besprochenen Hypothesen. Diese betrachteten den Meeresspiegel als der Hauptsache nach gleichbleibend oder berücksichtigten wenigstens dessen Veränderungen nicht hinreichend und legten den Schwerpunkt auf die senkrechte Auf- und Abbewegung der festen Massen. Für uns sind die Grundlagen die folgenden: Die Menge des Meerwassers ist eine annähernd gleichbleibende, periodische Änderungen der Küstenlinien vom Charakter der großen Transgressionen finden statt, die in einem Schwanken des Meeresspiegels, einer Verschiebung der Wassermassen ihren Grund haben. Vom Gebirgsbaue unabhängige säkulare Hebungen und Senkungen sind nicht mit Sicherheit erwiesen oder erweisbar, dagegen finden im ausgedehntesten Maße Senkungen an Bruchlinien statt, die so gebildeten Depressionen füllen sich mit Wasser, und auf diese Weise ist der Meeresspiegel in fortwährendem Sinken begriffen; durch horizontalen Zusammenschub werden Kettengebirge gebildet und durch sie die Kontinentalmassen vermehrt, während anderseits an diesen die Erosion, die Zerstörung durch Gewässer 2c., nagt und das zerkleinerte Verwitterungsmaterial zum größten Teile dem Meere zuführt und so dessen Spiegel erhöht. Dies sind, in wenige Sätze zusammengedrängt, die Ergebnisse, zu welchen uns die bisherige Betrachtung geführt hat. Einige Überlegung zeigt, daß solche Bewegungen des Wassers, wie sie die Terrassen der Diluvialzeit und die Transgressionen bedingen, zwar für die jeweilige Verteilung von Land und Wasser sehr wichtig sind, aber einen namhaften und dauernden Einfluß auf die Gestaltung der Festlandssockel nicht ausüben können. Es ist das eine Folgerung des fluktuierenden Charakters dieser Erscheinung, welche die Anhäufung ihrer Wirkung während ungeheurer Zeiträume nicht gestattet, so daß sie hinter andern zurücktreten, die ständig an der Arbeit sind.

Der zweite Vorgang, der in Betracht gezogen werden muß, ist die Erosion. Sie erniedrigt in unablässiger Thätigkeit die über die Meeresfläche emporragenden Kontinente, sie führt die abgenagten Teile ins Meer und läßt dadurch dessen Spiegel fortwährend steigen; aber trotz ihrer ungeheuern Wirkung finden wir doch die Erscheinung, daß die horizontal gelagerten Schichten aller frühern Formationen hoch über dem heutigen Meeresniveau auftreten. Mit voller Klarheit geht daraus hervor, daß ihre Wirkung eine geringere ist als die der ihr entgegenwirkenden Kräfte; wir werden also die Erosion wesentlich nur als einen verzögernden und die Kontraste ausgleichenden Faktor betrachten müssen. Eine wesentliche Folge ihrer Thätigkeit ist die, den Abstürzen der Kontinente gegen den Meeresboden eine sanfte Böschung und dadurch den Sockeln eine breitere Basis zu geben.

Als die wirksamen Faktoren für die Ausbildung von Kontinenten und Meeresbecken bleiben die „gebirgsbildenden" Kräfte, die Senkung an Bruchlinien und die Faltung, zurück, so daß Festländer und Ozeane die im Verlaufe der Erdgeschichte erfolgte Anhäufung von Wirkungen sind, deren Einzelerscheinung in der Aufstauung von Kettengebirgen oder in der Bildung von Senkungsfeldern zum Ausdrucke kommen.

Wie wir früher gesehen haben, ist wahrscheinlich der Betrag der Massenbewegung, welcher durch Senkung erzielt wird, viel bedeutender als jener, welcher in der Faltung der

Kettengebirge hervortritt. Durch den letztern Vorgang werden vorher über größere Räume ausgebreitete Gesteinsmassen enger zusammengeschoben, dadurch ein Teil des Materiales in höhere Lage gebracht, so die Festlandssockel vermehrt und ihnen in vielen Fällen erhöhte Ränder angesetzt. Diese letztern gehen allerdings im Laufe der Zeit durch Abtragung wieder verloren, die Gebirge werden eingeebnet, aber die Vermehrung des Sockels bleibt, soweit sie nicht etwa durch die Bildung neuer Brüche wieder entfernt wird. Diese Erscheinung ist vielleicht im stande, einiges Licht auf die Frage zu werfen, was denn Kontinente eigentlich sind, welchen Vorgängen sie ihre individuelle Bildung verdanken. In erster Linie sind sie die Pfeiler, welche beim Einbrechen der Erdrinde in die Tiefe stehen geblieben sind; wenn wir aber den innern Bau der Festländer betrachten, so sehen wir, daß sie alle in ihren ältesten Massen aus aufgerichteten und gestörten Schichten bestehen. Wo immer man kristallinische Schiefer, die Unterlage der jüngern Sedimente, findet, sind sie unabänderlich aufgerichtet und gestört. Heute allerdings machen sich die ältern Störungen im Relief des Landes nur wenig bemerkbar, sie gehören erloschenen, durch Erosion abgetragenen Gebirgen an. Wir kommen dadurch zu der Vorstellung, daß die Kontinente aus der Aneinanderscharung teils noch jüngerer, hoch aufragender, teils alter, abgetragener und seither wieder mit Tafeln horizontaler Schichten überdeckter Gebirge gebildet sind. Gewiß besteht auch ein großer Teil des Meeresgrundes aus solchen, aber der Gedanke liegt sehr nahe, daß unter den Ozeanen sich auch Massen befinden, in denen nie eine Aufrichtung stattgefunden hat, während die Gebirgsreste weniger einem Niederbruche in die Tiefe ausgesetzt waren und daher als kontinentale Pfeiler stehen geblieben sind.

Jeder Versuch, sich auch nur eine annähernde Vorstellung von der Art und Weise zu machen, in welcher diese großartigen Vorgänge sich abgespielt haben, ist schwierig; und trotzdem ist es sehr wichtig, von denselben ein wenn auch nur annähernd richtiges Bild zu gewinnen, weil hier einer der wenigen Punkte ist, an welchen wir eine entfernte Möglichkeit sehen, den wahren Betrag der Veränderungen in einem großen Zeitraume kennen zu lernen. Wenn es auch noch nicht an der Zeit ist, eine Schätzung zu versuchen, so mag es doch gestattet sein, wenigstens die Fragen und Probleme zu erörtern, welche hier sich heranbrängen.

Wie oben gezeigt wurde, treten Gesteine, welche aller Wahrscheinlichkeit nach in tiefer See gebildet sind und ungefähr der Grenze zwischen Globigerinensediment und rotem Tiefseeschlamme entsprechen mögen, in den untersilurischen Ablagerungen in horizontaler Stellung über dem heutigen Meeresspiegel auf. Um solche Gesteine wie die roten Orthocerenkalke in ihre heutige Position zu bringen, ist ein Sinken des Meeresspiegels um etwa 5000 m erforderlich, und wir müssen voraussetzen, daß ein solches seit dem untern Silur wirklich stattgefunden habe, während seit der mesozoischen Ära eine so bedeutende Änderung nicht erfolgt ist, da wir z. B. die roten Ammonitenkalke des Jura mit ihren Manganknollen nur aufgerichtet finden. Der Erdradius wäre demnach seit der Silurzeit um etwa 5000 m kleiner geworden, ein Resultat, das allerdings von zwei Voraussetzungen abhängt, nämlich, daß die Wassermenge des Meeres sich seit jener Zeit gleichgeblieben ist, und ferner, daß jene Regionen, in welchen wir untersilurische Tiefseebildungen in horizontaler Lagerung finden, nicht selbst Senkungen erlitten haben. Es ist jedoch *sehr wahrscheinlich*, daß *alle Teile der Erdrinde sich gesenkt haben* und jene Stellen, wo Pfeiler mit alten Tiefseesedimenten stehen geblieben sind, nur um einen geringern Betrag in die Tiefe gegangen sind als ihre Umgebung, nicht aber vollständig in Ruhe geblieben sind. Es hat sich demnach die Erde seit dem Silur vermutlich um mehr als 10,000 m zusammengezogen.

Es wird nicht nutzbringend sein, diese Fragen hier weiter zu erörtern, die uns mit jedem Schritte tiefer in ein unentwirrbares Gewebe unsicherer Voraussetzungen, zweifelhafter Schlüsse und schwankender Hypothesen führen würden. Ebensowenig können wir

festzustellen oder zu erraten suchen, wie die Sedimentablagerung am Meeresgrunde durch Abtragung der Festlandssockel, die Ausbrüche vulkanischer Gesteine, deren Materialien endlich am Boden des Ozeanes zur Ruhe kommen, dem Wirken der Senkung entgegenarbeiteten, welchen Einfluß die Aufstauung von Kettengebirgen ausübte, und wie sich demnach der Schlußeffekt aus einer Reihe von Einzelwirkungen zusammensetzt. Nur ein Ausblick auf die Menge der Probleme war gestattet, welche der Zukunft vorbehalten bleiben.

Viele Rätsel bietet uns die Entstehung von Gebirgen und Festländern, wenn wir auch sagen können, daß die Erkenntnis in dieser Richtung in neuester Zeit große Fortschritte gemacht hat. Neben der Frage nach den Ursachen und den Kräften, welche deren Bildung bedingt haben, tritt aber mit gleicher Bedeutung ein andres Problem auf: wir müssen zu ermitteln suchen, wie in den frühern Perioden der Erdgeschichte Lage und Umfang der Kontinente und Gebirge war. Dieses Forschungsgebiet gehört zu den schwierigsten, welche uns in der ganzen Geologie entgegentreten; die Orte zu bestimmen, an welchen in verschiedenen Perioden der Vorzeit, zur Silurzeit, während der Steinkohlen-, der Juraformation, kurz zu irgend einer bestimmten Zeit, riesige Kettengebirge gestanden haben, wie sie heute der Himalaja, die Anden, die Alpen darstellen, das ist eine Aufgabe, die bisher überhaupt noch kaum ernsthaft in Angriff genommen worden ist, und von der es zweifelhaft erscheinen muß, ob wir sie heute überhaupt nur ihrer Bedeutung nach richtig beurteilen, geschweige denn lösen können. Daß solche Gebirge wohl zu allen Zeiten bestanden haben, und daß viele von ihnen, sei es durch Senkung an Bruchlinien, sei es durch die rastlos arbeitenden, zerstörenden Kräfte der Erosion, verschwunden und vernichtet worden sind, darf man bestimmt annehmen; aber weiter zu gehen, ist für den Augenblick kaum möglich.

Anders verhält es sich mit den alten Kontinenten; hier sind wir sehr viel weiter, und man hat vielfach versucht, die Grenzen derselben für einzelne Zeitpunkte wiederherzustellen. Man hat die geographische Verbreitung der bekannten Meeresablagerungen einer bestimmten Periode in Karten eingetragen, um daraus die Grenzen der Meere und die alten Küstenlinien abzuleiten. Wir können hier nicht näher auf diesen Gegenstand eingehen, dessen gebührende Würdigung eine genaue Bekanntschaft mit den einzelnen geologischen Formationen voraussetzt. Wir werden später auf einzelne dieser Punkte zurückkommen, für jetzt soll nur eine Frage von großer Bedeutung erörtert werden, über welche man sehr verschiedene Ansichten hört. Vielfach wird mit großer Bestimmtheit behauptet, daß zur Zeit der ältesten fossilführenden Ablagerungen, namentlich während der kambrischen und silurischen Formation, die ganze Erdoberfläche noch vom Meere überflutet war oder aus diesem höchstens vereinzelte kleinere Inseln aufragten, daß im Devon die Ausdehnung des Festlandes im Zunehmen begriffen war und in der Kohlenformation eine sehr beträchtliche wurde. Die Stütze dieser Ansichten ist der Umstand, daß man aus den kambrischen Ablagerungen noch keine, aus dem Silur nur sehr wenige Reste von Landpflanzen kennt, während sie im Devon etwas reichlicher, in der Kohlenformation in großer Menge auftreten. Allein diese Deutung der Thatsachen ist eine unrichtige; wir können mit voller Bestimmtheit sagen, daß Festländer in jenen ältesten Zeiten existiert und in allergrößtem Umfange existiert haben müssen, und der Beweis hierfür ist so klar und einleuchtend, daß es kaum verständlich ist, wie man auf eine andre Ansicht kommen konnte. Die überaus mächtigen Gesteine der kambrischen und silurischen Formation sind vorwiegend Sandsteine, Thonschiefer, Konglomerate, sie gehören in der großen Mehrzahl zu jenen Sedimenten, welche sich durch die Zusammenschwemmung des Zerreibsels andrer Gesteine, von Verwitterungsprodukten bilden. Nun ist es aber eine nie bestrittene Thatsache, daß eine mechanische Zerkleinerung der Gesteine, welche Thon, Sand, Rollsteine liefert, in tiefem Wasser

nicht vor sich geht, sondern nur entweder auf dem festen Lande selbst oder an dessen Rändern, wo diese von der Brandung des Meeres gepeitscht und zerstört werden. Ohne Festland gibt es kein mechanisches Sediment außer vulkanischen Tuffen und den zusammengeschwemmten Resten von Meerestieren oder -Pflanzen. Hätten damals nur wenige und kleine Inseln bestanden, so müßten die kambrischen und silurischen Schichten fast ausschließlich aus Kalken und Tuffen bestehen. In Wahrheit aber haben schon damals Kontinente ebenso gut existiert wie heute, und da wir auch die kristallinischen Schiefer der vorkambrischen Zeit zum größten Teile als umgeänderte mechanische Sedimente kennen gelernt haben, so geht daraus hervor, daß Festländer auch für die archäische Periode angenommen werden müssen.

Eine andre Frage ist, warum wir fast keine Landpflanzen aus den ältesten fossilführenden Formationen kennen. Wir können darauf noch nicht mit voller Sicherheit antworten, doch scheint es, daß namentlich zwei verschiedene Ursachen zusammengewirkt haben: die eine besteht darin, daß aus Gründen, die wir im nächsten Abschnitte kennen lernen werden, die Festlands- und Seichtwasserablagerungen alter Formationen der Zerstörung durch Erosion mehr ausgesetzt sind als die Ablagerungen aus tiefem Wasser; die andre Ursache wird man darin zu suchen haben, daß durch die früher erwähnten Vorgänge seither so bedeutende Veränderungen in der Verteilung der Kontinente vor sich gegangen sind, daß in den jetzigen Festlandssockeln nur noch wenig von jenen der kambrischen und silurischen Zeit vorhanden ist.

---

6. Wirkung von Wasser und Luft.

Inhalt: Menge des Wassers. — Grundwasser, Quellen und Brunnen. — Geiser und Schlammvulkane. — Chemische Wirkung des Wassers. — Verwitterung. — Erosion. — Bergstürze und Erdrutschungen. — Wildbäche. — Thalbildung. — Abtragung der Gebirge. — Cañons. — Karstbildung. — Lößlandschaft. — Thalterrassen. — Verlegung der Flußläufe. — Ablagerungen aus fließendem Wasser. — Zerstörende Wirkung des Meeres. — Wirkung des Eises. — Die Gletscher und ihre Bewegung. — Erosion und Transport durch Gletscher. — Entstehung der Seen. — Eisberge. — Wirkung des Windes. — Wüstenbildung. — Gesamtwirkung der Denudation.

Menge des Wassers.

Wir haben die geologischen Vorgänge kennen gelernt, deren letzte Ursache in der Erkaltung und Zusammenziehung der Erde gegeben ist. Ganz andre Erscheinungen finden wir bei jenen Veränderungen, welche durch die Einwirkung von Sonne und Mond auf unserm Planeten bewirkt werden. Übten jene ihre Hauptwirkung auf die festen Massen aus, und war das Ergebnis wesentlich eine Vermehrung und Verstärkung der Oberflächenverschiedenheiten, so wirken im Gegenteile diese letztern Kräfte auf die beweglichen Hüllen der Erde, auf Wasser und Luft, und fast nur mittelbar durch diese auf die Gesteine; das Resultat ihrer Thätigkeit besteht wesentlich in einer steten Nivellierung und Ausgleichung der Höhenunterschiede, sie zerstören die Gesteine und führen die Zerstörungsprodukte nach abwärts.

Das Wasser, der wichtigste Faktor bei dieser Art von Veränderungen, ist seiner Hauptmasse nach in den Meeren konzentriert; aber diese großen Ansammlungen bilden den Ausgangspunkt für eine stete Wanderung des flüssigen Elementes. Fortwährend findet von ihrer Oberfläche unter dem Einflusse der Sonnenwärme eine Verdunstung statt, die Wasserdämpfe steigen in die Atmosphäre empor, sie verdichten sich und fallen als Niederschläge, als Regen, Schnee, Hagel, Tau und Reif, wieder herab. Ein Teil davon gelangt unmittelbar ins

Meer zurück, ein andrer fällt auf festem Lande nieder und geht hier einem mannigfaltigen Schicksale entgegen. Eine große Menge kehrt sofort durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre zurück, Gletscher und Inlandeismassen binden bedeutende Mengen, andre dienen zum Unterhalte des Lebensprozesses von Pflanzen und Tieren; der Rest fließt entweder unmittelbar an der Erdoberfläche ab und in Bächen und Flüssen dem Meere oder den Binnenseen zu, oder er versickert in die Tiefe, in jenes Netz auf Spalten und in Hohlräumen zirkulierender Gewässer, von denen aus die Gesteine mit Bergfeuchtigkeit versehen und die Quellen gespeist werden. Im großen und ganzen findet ein Kreislauf in der Weise statt, daß das Meer durch Verdunstung Wasser verliert und dieses auf größern oder geringern Umwegen wieder zu seinem Ursprungsorte zurückkehrt. Allerdings wird ein gewisser Anteil, der namentlich von Gesteinen absorbiert wird, dem Kreislaufe vollständig entzogen; aber es findet auch ein steter Ersatz durch die Exhalationen von Vulkanen und analoge Vorgänge aus dem Innern der Erde statt.

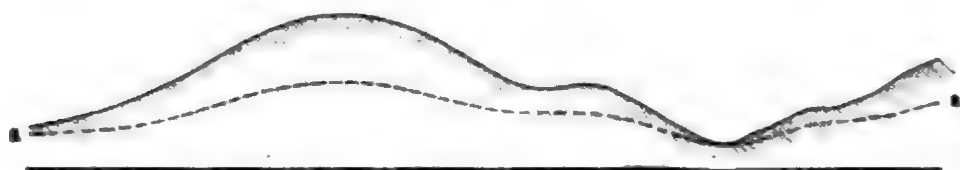
Wenn wir uns von der Bedeutung dieser Erscheinungen eine richtige Vorstellung machen wollen, so müssen wir vor allem wenigstens annähernd zu erfahren suchen, wie groß die Wassermassen sind, um welche es sich dabei handelt. Diejenigen des Meeres sind mehrfachen Berechnungen unterzogen worden, welche namentlich seit den zahlreichen Lotungen in großen Meerestiefen, die in neuerer Zeit gemacht worden sind, einigermaßen genau sind. Krümmel, dem wir die beste Schätzung dieser Art verdanken, berechnet die Durchschnittstiefe des Meeres zu 1880 Faden oder 3440 m, also rund zu $^1/_2$ geogr. Meile. Es ergibt sich daraus die gesamte Wassermasse des Meeres zu 1285 Millionen Kubikkilometer oder etwas mehr als 3 Millionen Kubikmeilen; das Meerwasser macht daher etwa $^1/_{843}$ des Volumens, aber wegen seiner geringen Dichte nur $^1/_{4540}$ des Gewichtes der Erde aus.

Die Menge des Wassers, die vom Meere verdunstet, aber als Regen oder Schnee unmittelbar wieder in dieses zurückkehrt, ist vom geologischen Standpunkte aus wenig wichtig; von um so größerm Belange ist derjenige Betrag, welcher auf das Festland niederfällt. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Niederschläge auf dem Festlande im Durchschnitte ungefähr 1 m im Jahre betragen. Suez hat nur 3 cm jährlich, während die Regenmenge von Cerra Punji in Assam, wo der indische Südwestmonsun auf die Himalajakette trifft, 14 m übersteigt; in Europa beträgt die Regenmenge nur an den Gebirgsrändern und an den höher im Norden gelegenen Küstenstrichen, die unter dem Einflusse des Golfstromes stehen, mehr als 1 m. Mag sie auch ungenau sein, so entfernt sich doch wohl die Annahme eines Meters als Durchschnitt der Regenmenge nicht weit von der Wahrheit. Würde dieser ganze Betrag durch Flüsse dem Meere wieder zugeführt, so ließe sich ungefähr angeben, wieviel Zeit nötig ist, um auf diesem Wege das gesamte Meerwasser zu erneuern: wenn man die Tiefe des Ozeanes und das Verhältnis seiner Oberfläche zu jener der Kontinente und Inseln berücksichtigt, so findet man, daß hierzu annähernd 9500 Jahre erforderlich wären; da jedoch sehr viel von den Niederschlägen sofort wieder verdunstet, kann man annehmen, daß in Wirklichkeit hierzu mindestens 15,000 Jahre erforderlich sind. Bei diesen Schätzungen müssen wir uns aber gegenwärtig halten, daß sie für den jetzigen Augenblick gelten; wir wissen nicht, ob die Menge des Meerwassers sich gleichbleibt, oder ob eine langsame Zu- oder Abnahme desselben stattfindet.

Grundwasser, Quellen und Brunnen.

Von der Niederschlagsmenge, welche ein Gebiet betrifft, kehrt im Durchschnitte ein Drittel durch Verdunstung sofort wieder in die Atmosphäre zurück, ein zweites Drittel läuft an der Erdoberfläche ab, das dritte Drittel sickert in die Tiefe. Natürlich ist das nicht für alle Gebiete richtig; die überaus geringen Mengen von Regen und Tau, welche die Sahara befeuchten, gehen zum größten Teile durch Verdunstung verloren; in den zerklüfteten Kalkgebieten des Karstes nimmt eine unverhältnismäßig große Menge den Weg in die Tiefe, während in den außerordentlich regnerischen Gebieten von Assam am Südfuße des östlichen Himalaja mit seiner übergroßen Menge mächtiger Ströme die Hauptmasse des Regenwassers an der Oberfläche abfließt. Aber im großen und ganzen mag jenes Verhältnis, wenn auch nur in entfernter Annäherung, als richtig gelten.

Die versickernden Wasser sind in ihrem Laufe auf die sich ihnen bietenden Wege angewiesen. Es gibt zwar kein Gestein, das für Wasser gar nicht durchdringbar wäre; aber viele lassen das Wasser doch nur in sehr geringem Grade durch, so daß sie dem Vordringen desselben Schranken setzen, während ihm andre mit Leichtigkeit Durchtritt gewähren. Man unterscheidet daher durchlässige (permeable) und undurchlässige Gesteine. In die erstere Abteilung gehören lose Geröll- und Sandmassen oder die verfestigten Konglomerate und weitaus die meisten Sandsteine, während Thongesteine im höchsten Grade undurchlässig oder wasserdicht sind. Feste Felsgesteine geben dem Wasser in der Regel nur geringen Durchtritt, wenn sie nicht bedeutende Zerklüftung und Spaltenbildung zeigen, wie das fast bei allen Kalken der Fall ist, die darum auch beinahe durchweg ausgezeichnet durchlässig sind.



Verlauf des Grundwasserspiegels (aa) unter welligem Terrain.

Wo unmittelbar an der Oberfläche sehr stark durchlässige Gesteine anstehen, werden die niederfallenden Wasser fast ganz versinken, soweit nicht die Humusdecke sowie das Vegetationskleid ein Hindernis bilden. Dieses Wasser nimmt seinen Weg in die Tiefe, bis es auf eine undurchlässige Schicht kommt, über welcher es sich sammelt und deren Neigung entsprechend abfließt. Da auch permeable Gesteine doch einen viel weniger freien Abzug gewähren, als er an der Oberfläche stattfindet, so ist der Ablauf dieser Grundwasser auch ein entsprechend langsamerer und schließt sich ihr Spiegel mehr oder weniger den Formen der Oberfläche an (s. obenstehende Abbildung). Häufig begegnet dieses von oben eingedrungene Grundwasser den Infiltrationen, welche von den Flüssen aus seitwärts stattfinden, und gerät so, ohne die Oberfläche selbständig, als Quellen, wieder erreicht zu haben, in den Fluß.

Es ist bekannt, von wie großer Bedeutung das Grundwasser für den Menschen ist. Wo die Verhältnisse günstig sind, stellt es eine kontinuierliche Wasserfläche in größerer und geringerer Tiefe dar, deren ursprünglich vielleicht getrübte Flüssigkeit durch die Filtration zwischen den Bodenbestandteilen geklärt worden ist. Bei einfachen Brunnengrabungen dringt man bis auf dieses Niveau herab und befördert nun das Wasser durch Pump- oder Schöpfvorrichtungen empor. Anderseits ist der Stand des Grundwassers namentlich für die Gesundheitsverhältnisse von größter Wichtigkeit; wo zahlreiche Menschen beisammenwohnen, sickern beim Mangel an geeigneten Gegenvorkehrungen massenhafte

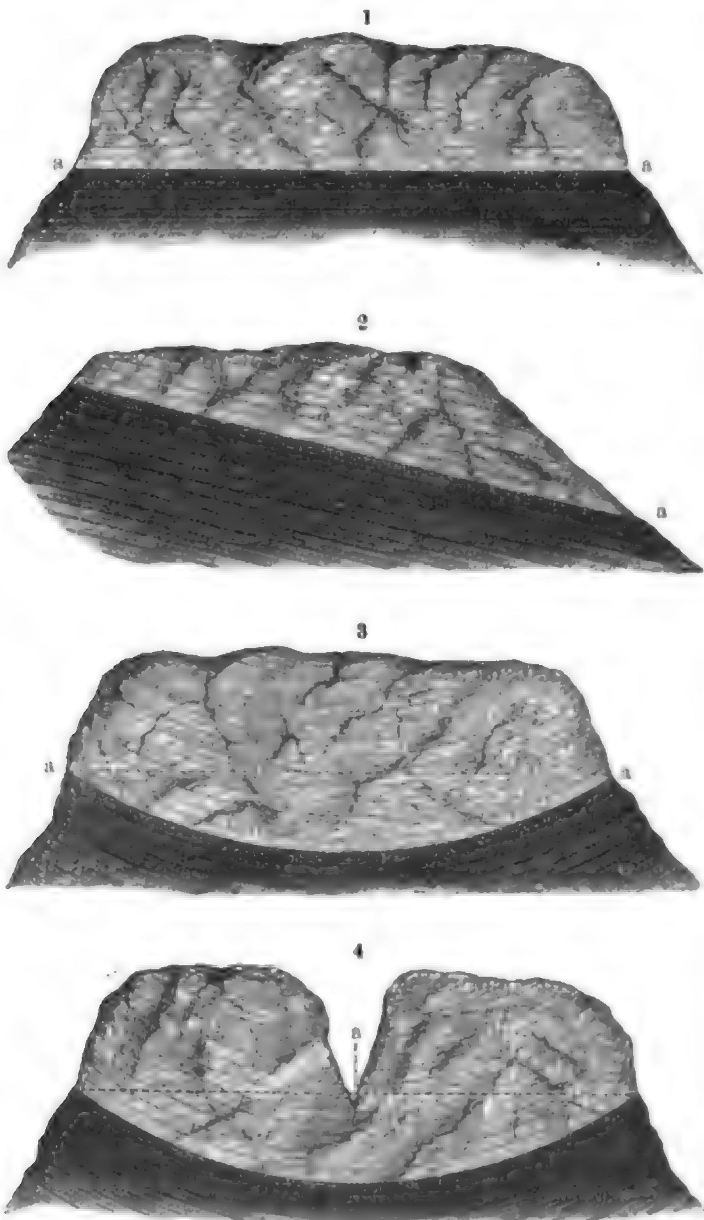
Verunreinigungen in die Tiefe und verjauchen das Grundwasser; namentlich die von diesem durchfeuchteten, nicht aber ganz durchtränkten Regionen gelten vielfach als die Brutstätten zahlreicher Krankheiten.

Ein großer Teil des von oben in die Tiefe gesickerten Wassers kommt in den Quellen wieder zum Vorschein, welche lediglich das Wasser der atmosphärischen Niederschläge führen. Diese Auffassung vom Wesen der Quellen wird in schlagender Weise dadurch bewiesen, daß die Reichhaltigkeit der Quellen in strenger Abhängigkeit von der Menge des Regens und Schnees ist, wie das ein einzelnes Beispiel zeigen mag. Die Stadt Wien bezieht seit dem Jahre 1873 ihren Wasserbedarf aus einigen sehr reichen Quellen, welche in den Alpen großenteils am Fuße der gewaltigen Kalkplateaus des Schneeberges und der Raxalpe im Höllenthale oberhalb Reichenau auftreten. Jeder stärkere Regenfall, die Schneeschmelze auf den Höhen machen sich in der Wassermenge der Quellen bemerkbar. Den eigentlich nachhaltigen Vorratsstock, welcher die Speisung in trockner Sommer- und Herbstzeit sichert, liefern mächtige trichterförmige oder kesselartige Einsenkungen auf jenen Kalkhöhen, welche sich im Winter mit Schnee füllen. In diese Kessel fällt nicht nur die normale Schneemenge, sondern die Winterstürme treiben in dieselben von den benachbarten Höhen gewaltige Schneemassen hinein, die sich hier teilweise sogar bis zum nächsten Winter erhalten. In sehr regenarmen Sommern hängt dann der Reichtum der Quellen von der Menge dieser Anhäufungen ab und zeigt sich von der sommerlichen Trockenheit weit weniger beeinträchtigt nach einem schneereichen als nach einem schneearmen Winter.

Dieser innige Zusammenhang zwischen der Ergiebigkeit der Quellen und dem Grundwasserstande einerseits und der Niederschlagsmenge anderseits läßt sich in zahllosen Fällen nachweisen; es gibt unter den erstern sogar ziemlich wenige, die nicht in der trocknen Jahreszeit spärlicher fließen als in der nassen und während der Schneeschmelze. Trotzdem sind mehrfach andre Ansichten aufgetaucht, und namentlich in den letzten Jahren ist eine ebenso eigentümliche wie geistreiche Quellentheorie aufgestellt worden, die in manchen Kreisen sich einer günstigen Aufnahme erfreut zu haben scheint und daher einer nähern Besprechung unterzogen werden mag. Der bekannte Geolog Otto Volger hat die allerdings an sich nicht neue Ansicht aufgestellt, daß „kein Wasser des Erdbodens vom Regenwasser herrührt“. Er stützt sich dabei zunächst auf die Erscheinung, daß selbst bei heftigen Regengüssen das Wasser nicht tief in das Erdreich eindringt, und meint, daß, wenn überhaupt ein so hoher Grad von Durchlässigkeit bestünde, Seen und Meere schon längst in die Tiefe gesunken sein und ihre Becken trocken liegen müßten. Ferner soll die Verdunstung von der Erdoberfläche das Jahr hindurch mehr betragen als die Summe der atmosphärischen Niederschläge; es muß also das Wasser von Regen und Schnee verdunsten, ohne in die Tiefe dringen zu können. Diese Schwierigkeiten haben den Versuch einer andern Erklärung veranlaßt: Da die Temperatur des Bodens in einer gewissen Tiefe fast genau der mittlern Jahrestemperatur der Atmosphäre an dem betreffenden Orte entspricht, also im heißern Teile des Jahres kälter als die Luft ist, so wird die letztere, wenn sie in der Erde zirkuliert und in die Tiefe gelangt, abgekühlt werden und der Wasserdampf, den sie enthält, sich niederschlagen; durch diesen Vorgang sollen Grundwasser und Quellen gespeist werden.

So einleuchtend diese Folgerungen auf den ersten Blick auch scheinen mögen, so sind sie doch, wie Hann gezeigt hat, nicht richtig. Zunächst könnte eine solche Verdichtung von Wasserdampf im Boden nur in jener Jahreshälfte stattfinden, in welcher die Luft wärmer ist als der Boden, also vor allem in den Sommermonaten; in diesen würde die erhitzte und mit Dämpfen beladene Luft Wasser liefern, die Quellen um diese Zeit reichlich strömen. Im Winter erhielten sie dagegen keine Nahrung und müßten also im Frühlinge den schwächsten Wasserstand aufweisen, was bekanntlich genau das Gegenteil der wirklichen Erscheinungen

ist. Ferner ist absolut nicht einzusehen, warum gerade im Sommer das Eindringen der Luft in den Boden stattfinden soll, denn gerade dann ist sie in der Höhe wärmer und daher leichter als die in der Tiefe enthaltene Luft und wird nicht dorthin vordringen können. Überdies aber wären so enorme Luftmassen erforderlich, daß schon aus diesem Grunde die Annahme unmöglich wird. Endlich würde bei der fortwährenden Verdichtung großer Mengen von Wasserdampf so viel Wärme frei und die Bodentemperatur dabei so sehr gesteigert, daß jede weitere Verdichtung von selbst aufhören müßte.



Verschiedene Arten von Quellbildungen. Oben durchlässiges, unten undurchlässiges Gestein. — a a Quellen. — 1 Gleichmäßiges Quellenniveau. — 2 Schichtquelle. — 3 Überfallsquellen. — 4 Thal- oder Spaltquelle. Vgl. Text, S. 373.

Sind nun damit auch die Grundlagen dieser Hypothese widerlegt, so bleiben doch die von *Volger* erhobenen Einwürfe gegen die alte Quellen- und Grundwassertheorie bestehen. Was zunächst den Einwurf betrifft, daß bei bedeutender Durchlässigkeit des Bodens Seen und Meere verschwinden müßten, so ist derselbe wohl belanglos: die am Boden dieser Wasseransammlungen sich absetzenden Sedimente bilden im Laufe der Zeit eine undurchlässige Decke, welche das weitere Versinken des Wassers hindert; wo das aber nicht der Fall ist, sind eben alle Teile bis zur nächsten undurchlässigen Schicht schon längst durchwässert und ein Gleichgewichtszustand hergestellt, so daß kein erhebliches neues Abströmen mehr stattfindet. Die fernere Angabe, daß das Wasser überhaupt nicht in den Boden eindringe, ist allerdings für kurze Regengüsse im Kulturlande und in flachen Gegenden gültig; sie trifft aber nicht im Gebirge und für anhaltende Regen zu.

Mit Sicherheit dürfen wir also sagen, daß *das in der Tiefe zirkulierende Wasser von atmosphärischen Niederschlägen herrührt.* Wir wollen dieses auf seinen Wegen verfolgen und betrachten, wo und unter welchen Verhältnissen es wieder an die Oberfläche kommt, d. h. *wo und wie sich Quellen bilden.* Nichts kann einfacher sein als die theoretischen Prinzipien dieser Vorgänge, dafür aber ist die Art und Weise des Auftretens der einzelnen Erscheinungen lokal oft äußerst kompliziert und schwierig zu entziffern. Mag das unterirdische Wasser nun als Grundwasser in einer durchlässigen Schicht oder frei in Klüften oder Hohlräumen sich bewegen, immer folgt es natürlich dem Zuge der Schwere, es fließt nach abwärts, und wo es nun auf diesem seinem Laufe

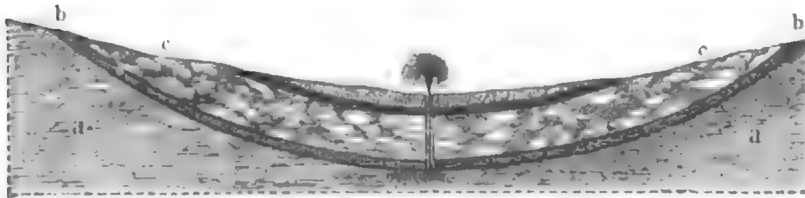
eine Kommunikation mit der Oberfläche findet, die es nach den einfachen Gesetzen des Wasserlaufes erreichen kann, die aber tiefer liegt als der unterirdische Wasserspiegel, da tritt es als Quelle hervor. Wir wollen einen möglichst einfachen Fall annehmen: Eine Schicht durchlässigen Sandes oder Kalkes liegt horizontal auf einem wasserdichten Thone; die Sickerwasser werden hier bis auf die Thonoberfläche niedersinken und sich da als Grundwasser sammeln. Ist nun etwa an einem Berggehänge die Grenze zwischen Thon und Sand aufgeschlossen, so werden längs dieser Grenzlinie Quellen auftreten; wir finden hier ein Wasserniveau (s. Abbildung, S. 372, Fig. 1). Diese Erscheinung stellt sich unter normalen Verhältnissen mit solcher Regelmäßigkeit ein, daß man z. B. bei geologischen Kartenaufnahmen oft die Grenze zwischen den beiderlei Gesteinen lediglich nach dem Auftreten der Quellen einzeichnen kann, wenn reiche Vegetations- und Humusbedeckung eine direkte Beobachtung verhindert. Ist eine Neigung der Schichten vorhanden, so wird das Quellenniveau nicht überall gleichmäßig auftreten, wo die Grenze zwischen durchlässigen und dichten Gesteinen zu Tage ausgeht, sondern, weil das Grundwasser der Schichtenneigung entsprechend abläuft, nur da, wo ein solcher Aufschluß in der Richtung des Fallens liegt; es entstehen dann Schichtquellen (s. Abbildung, S. 372, Fig. 2). Weitere Komplikationen kommen natürlich bei stärkern Störungen der Schichten vor; bilden diese z. B. eine Mulde, so werden sich in deren Innerm über der wasserdichten Schicht die Grundwasser sammeln, bis sie an den Muldenrändern über deren obere Grenze als Überfallsquellen ablaufen können (s. Abbildung, S. 372, Fig. 3). Anderseits wird ein Thal, das in eine solche Mulde bis in das Grundwasserniveau einschneidet, an seinen beiden Seiten von Quellen, Thal- oder Spaltquellen, begleitet sein (s. Abbildung, S. 372, Fig. 4).

Wir haben bis jetzt den sehr einfachen Fall vorausgesetzt, daß nur eine durchlässige Schicht auf einer wasserdichten aufliegt; aber sehr oft liegt eine permeable Schicht streckenweise an der Oberfläche bloß, wo sie sich mit Wasser durchtränkt, und senkt sich im weitern Verlaufe in die Tiefe, wo sie sowohl nach oben als nach unten von undurchlässigen Gesteinslagen begrenzt sein mag; sie bildet dann ein Wasserniveau, und wo immer dasselbe in größerer Tiefe wieder eine Kommunikation nach außen findet, wird es seinen Gehalt in Quellen entleeren.

Je komplizierter die Lagerungsverhältnisse werden, um so verwickelter wird auch die Beurteilung der Wasserführung der Schichten, namentlich wenn das Wasser sich nicht als zusammenhängender Spiegel in einer permeabeln Gesteinslage ausbreitet, sondern auf Klüften oder in Höhlen verläuft. Es würde zu weit führen, in Einzelheiten einzugehen, so groß auch die praktische Bedeutung dieser Verhältnisse ist; es verhält sich hier wie in so vielen andern Punkten, daß das geübte Auge des Geologen auch in schwierigen Fällen rasch und richtig die Anwendung der einfachen Gesetze unter sehr komplizierten Umständen von selbst herausfinden wird, daß aber auch die ausführlichste Anweisung demjenigen nichts nützt, welcher nicht den innern Bau einer Gegend aus den Erscheinungen der Oberfläche zu erschließen gelernt hat. Unter allen Verhältnissen handelt es sich nur um Feststellung des geologischen Baues und um Anwendung der einfachen Gesetze des Wasserlaufes auf denselben. Was darüber hinausgeht, hat nicht den geringsten Wert, und wenn gewisse Quellenpropheten mit geheimnisvollen Hilfsmitteln verborgene Wasseradern aufsuchen, so ist das im besten Falle eine charlatanhafte Verbrämung jenes einzig richtigen Vorgehens, die darauf berechnet ist, dem Laien auf diesem Gebiete zu imponieren.

In den meisten Fällen handelt es sich darum, den Punkt anzugeben, wo am zweckmäßigsten, mit den geringsten Kosten und mit der meisten Aussicht auf Ergiebigkeit, der Grundwasserspiegel oder überhaupt ein wasserführendes Niveau erreicht werden kann, oder die Mittel anzugeben, wie die Reichhaltigkeit einer vorhandenen Quelle vermehrt oder gesichert

werden kann. Einen ganz eigentümlichen Fall der Wasserbeschaffung bildet die Bohrung sogenannter „artesischer Brunnen“, die zuerst in Europa in der Landschaft Artois in Frankreich im 12. Jahrhundert ausgeführt worden sind und daher ihren Namen führen. Das Prinzip der artesischen Brunnen, die übrigens in China und in den Oasen der Libyschen Wüste schon seit sehr langer Zeit im Gebrauche sind, besteht darin, daß man ein Loch senkrecht in die Tiefe stößt, bis man auf eine von undurchlässigen Gesteinen bedeckte Wasserschicht trifft, in welcher sich das Wasser unter bedeutendem Drucke befindet. Sobald nun der Bohrer die überliegenden Massen durchsunken hat und in das Wasserniveau eindringt, steigt das Wasser infolge des Druckes in dem Bohrloche empor und erhebt sich oft noch als Springbrunnen über die Mündung desselben. Wie erwähnt, wurden die ersten derartigen Unternehmungen schon früh ausgeführt, immerhin aber blieb die Anwendung dieser Methode eine ziemlich beschränkte. So kam es, daß der außerordentlich günstige Erfolg einer Bohrung in Grenelle bei Paris im Jahre 1842 großes Aufsehen erregte; in einer Tiefe von 547 m wurde das Wasser erreicht, worauf dieses nun in mächtigem Strahle emporsprang und anfangs 3200 cbm in 24 Stunden lieferte. Seitdem hat man in den verschiedensten Gegenden artesische Brunnen in großer Zahl angelegt, so daß dieselben jetzt zu den ganz gewöhnlichen Einrichtungen gehören.



Schematische Darstellung eines artesischen Brunnens.
a Undurchlässige Unterlage — b Wasserschicht — c Undurchlässige Deckschicht.

Natürlich sind die geologischen Verhältnisse der artesischen Brunnen sehr verschieden je nach dem Baue der Gegend, in welcher sie angelegt sind. Die Grundzüge der Bedingungen, unter welchen sie auftreten, lernen wir auch hier wieder am sichersten kennen, wenn wir den einfachsten Fall ins Auge fassen. Denken wir uns einen weitgedehnten Landstrich von muldenförmigem Baue, in welchem alle Schichten flach gegen den Mittelpunkt oder die Mittellinie der Mulde einfallen, so werden im Zentrum dieser Gegend die jüngsten Schichten anstehen, gegen außen aber immer ältere Ablagerungen zum Vorscheine kommen (s. obenstehende Abbildung). Wo diese an die Oberfläche treten, nehmen sie, soweit sie durchlässig sind, Wasser auf, und dieses läuft, der Neigung der Schichten entsprechend, nach der Mitte der Mulde ab. Liegen nun die permeabeln Ablagerungen unter wasserdichten, so wird, der hohen Lage des Infiltrationspunktes entsprechend, auch in der Mitte der Mulde der nötige Druck herrschen, um das Steigen und Emporquellen zu bewirken, sobald ein Bohrloch die Deckschicht durchstoßen hat. Je nach der Schichtfolge in einer Mulde, wenn mehrere durchlässige Bänke zwischen dichten eingekeilt sind, werden auch mehrere an Ergiebigkeit und Qualität verschiedene Wasserhorizonte untereinander folgen, und man wird dann je nach Verhältnissen das erste, zweite, dritte Wasserniveau anzapfen können.

Selbstverständlich sind nicht überall die Verhältnisse so geartet, daß die Anlage artesischer Brunnen möglich ist; oft findet man in der Tiefe keine unter Druck stehende Wasserschicht. Wo die Möglichkeit gegeben und Aussicht auf Erfolg vorhanden ist, muß der Geolog entscheiden; oft aber sind die Bedingungen und die Lagerung so verwickelter Natur, daß ein sicheres Urteil nicht möglich ist und eine Bohrung einigermaßen auf gut Glück unternommen werden muß, um für ein größeres Gebiet die Beschaffenheit der tiefen Wasserhorizonte festzustellen. Große Strecken bieten in dieser Richtung günstige Bedingungen, keine Gegend der Welt aber scheint mehr bevorzugt als ein großer Teil der riesigen Wüstengebiete Nordafrikas. Vielfach findet sich in der Sahara in ziemlich geringer Tiefe unter dem

brennenden, trocknen Boden eine überaus reiche Wasserschicht, die quellende Brunnen liefert, wenn man ein Bohrloch niedersenkt. Schon die alten Ägypter holten in den Oasen der Libyschen Wüste das kostbare Naß, die Bedingung alles Lebens, aus diesem Grundwasserniveau, und neuerdings haben sich namentlich die Franzosen in Algerien große Verdienste erworben, indem sie mit dem artesischen Bohrer große Strecken Kulturlandes der Wüste abgewannen. Die Herkunft dieses Wassers ist schon vielfach besprochen worden; man glaubte, daß es durch seitliche Infiltration aus dem Nil herrühre, doch ist stellenweise das Wasserniveau in der Wüste höher als der Spiegel des Nils in der Gegend, in welcher die Infiltration stattfinden müßte, und überdies ist eine leichte Neigung der Schichten von der Libyschen Wüste gegen den Nil vorhanden. Aller Wahrscheinlichkeit nach stammt das Wasser aus dem Süden, aus den regenreichen Gebieten des Sudan südlich von der Sahara, wo die Schichten sich zu durchtränken und dem Wasser von da einen unterirdischen Abfluß nach Norden zu gewähren scheinen. Der Reichtum dieser Saharabrunnen und der Behälter, aus welchen sie gespeist werden, ist ein ganz ungeheurer. Während man in andern Gegenden gewöhnlich bemerkt, daß bei Anlage einer größern Zahl artesischer Bohrungen die Ergiebigkeit der einzelnen unter ihnen erheblich leidet, hat man in der Sahara noch nichts der Art beobachtet; so sehr man die Brunnen auch vermehrt, zeigt sich doch keine Wasserabnahme. Es ist daher alle Aussicht vorhanden, auf diese Weise noch weitere ansehnliche Strecken der Wüste der Kultur zu erschließen und zurückzugewinnen; weiß man ja doch, daß zur Zeit der hohen Blüte des alten Ägypten sich in jetzt ganz sterilen Gegenden eine Reihe bedeutender Ansiedelungen befanden, deren Existenz nur durch seither verschüttete artesische Brunnen ermöglicht war.

Über die Oase Dachel in der Libyschen Wüste schreibt Zittel: „In der Umgebung von Kasr Dachel sprudeln allein 30—40 mächtige Thermen hervor, und ihre Zahl kann fast beliebig vermehrt werden. Die ältern Quellen kommen entweder freiwillig aus Spalten eines dichten Kreidemergels hervor, oder sie wurden schon in einer Zeit gegraben, welche der Tradition der Oasenbewohner entrückt ist; die neuern Brunnen werden in der Weise hergestellt, daß mit unsäglicher Mühe lediglich durch Handarbeit ein Schacht abgeteuft wird. Hat derselbe die Kreidemergel durchsenkt, so werden aus Akazienholz gezimmerte Kasten von etwa 2 Fuß im Geviert aufeinander gesetzt, durch Zapfen vernietet, und dann wird die letzte weiße Sandsteinbank durchgestoßen. Diese Operation ist nicht ohne Gefahr, denn das Wasser strömt mit solcher Gewalt hervor, daß die Arbeiter Mühe haben, zu entrinnen; es füllt den Brunnen rasch bis zum Rande, fließt von da in zahlreiche Gräben und verwandelt wie durch Zauber die öde Wüste in frische, grünende Gärten. Man sollte denken, daß jeder neue Brunnen die zunächst gelegenen in ihrem Wasserreichtume beeinträchtigen müßte, allein bis jetzt hat sich eine derartige Erscheinung noch nirgends gezeigt. Der unterirdische Behälter scheint geradezu unerschöpflich zu sein. Wir hatten Gelegenheit, die segensreiche Wirkung eines vor sechs Monaten angelegten Brunnens zu beobachten. Man führte uns durch eine öde, mit handhohem Flugsande bedeckte Ebene nach einem niedrigen Hügel, wo das Wasser aus der Quelle in ein vielfach verzweigtes System von Gräben und Kanälchen über ein sanft geneigtes Terrain abfloß. Bis zu der Stelle, wo die äußersten dünnen Wasserfädchen des Kanalnetzes im Sande verrieselten, war die Wüste in ein prachtvolles, grünendes Weizenfeld umgewandelt; dazwischen keimten bereits Datteln- und Akazienschößlinge, so daß in wenigen Jahren ein stattlicher Palmenhain den der Kultur gewonnenen Boden beschatten wird.

„Fast mit Sicherheit läßt sich den Oasen eine bessere Zukunft voraussagen, wenn erst die Erkenntnis festen Fuß gefaßt haben wird, daß die Zahl der Quellen beinahe unbeschränkt vermehrt werden kann; wenn zweckmäßigere und weniger zeitraubende Methoden zur Bohrung artesischer Brunnen in Anwendung gebracht sein werden, dann kann der

kultivierbare Boden der Oase Dachel, die jetzt von etwa 17,000 Menschen bewohnt wird, leicht die zehnfache Anzahl besser und reichlicher ernähren als jetzt. Der Beweis hierfür braucht nicht erst geliefert zu werden; die zahlreichen Ruinen altägyptischer Dörfer in den Oasen Charge und Dachel, die stattlichen, aus mächtigen Sandsteinquadern erbauten Tempel mit schön erhaltenen Hieroglyphen inmitten öder Wüstenstriche, die verschütteten Brunnen, deren Lage vielleicht noch hier und dort durch eine verkümmerte Baumgruppe bezeichnet ist, die zahllosen vermoderten Baumstümpfe zwischen versandeten Feldern, deren Einteilung sich noch erkennen läßt, sprechen deutlicher als alle schriftlichen Urkunden für die einstige Blüte der Oasen unter den altägyptischen Königen, die nicht durch Veränderungen der physikalischen Verhältnisse, sondern durch die Verwüstungen der Menschen zu Grunde ging."

Stammt das Wasser der artesischen Brunnen aus beträchtlicher Tiefe, reicht das Bohrloch bis in Regionen hinab, in welchen sich der Einfluß der innern Erdwärme schon geltend macht, so ist das aufsteigende Wasser warm, seine Temperatur ist höher als die mittlere Jahrestemperatur der Atmosphäre an dem betreffenden Orte. Ähnliche Verhältnisse finden sich bei natürlichen Quellen, deren Wärme wesentlich durch die Tiefenstufe bedingt wird, aus welcher sie kommen. Diejenigen unter ihnen, welche ganz oberflächlich, unmittelbar unter der Humusdecke verlaufen, die sogenannten Rasenquellen, machen die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur mit, sie gefrieren im Winter, versiegen im Sommer; auch die aus etwas größerer Tiefe stammenden „Bodenquellen", die dem obersten Grundwasserniveau ihr Wasser entnehmen, machen wenigstens die Schwankungen der Jahreszeiten mit, und erst die aus größerer Tiefe stammenden „Gesteinsquellen" bewahren gleichbleibende und von dem Wechsel der Lufttemperatur nicht oder nur unmerklich beeinflußte Wärme. Diejenigen unter ihnen, welche aus nicht sehr großer Tiefe stammen, aus jenen Regionen, wo die Gesteinstemperatur ungefähr dem Jahresmittel des Ortes entspricht, haben diese Temperatur angenommen, und die thermometrische Untersuchung solcher Quellen ist daher bei Reisen in noch wenig erforschten Ländern, aus welchen keine zusammenhängenden meteorologischen Beobachtungsreihen vorliegen, von großer Bedeutung, um wenigstens annähernd die mittlere Jahrestemperatur des Ortes zu bestimmen.

Die Wasseradern jedoch, welche aus größerer Tiefe aufsteigen, liefern warme Quellen oder Thermen, Namen, die man anwendet, sobald die Temperatur das Jahresmittel für den betreffenden Ort auch nur um einen Grad übersteigt. Man darf sich also durchaus nicht vorstellen, daß eine Therme heißes Wasser haben müsse, im Gegenteile muß als solche in einer polaren Gegend, deren Klima im Durchschnitt unter dem Gefrierpunkte liegt, schon eine eisigkalte Quelle bezeichnet werden, die sich nur einen Grad über den Nullpunkt des Thermometers erhebt. Solche Vorkommnisse sind in der Natur sehr häufig, weit seltener sind diejenigen, bei welchen die Temperatur erheblich höher steigt und das Wasser dem Gemeingefühle als entschieden warm oder wirklich heiß erscheint. Gerade diese sind es jedoch, welche für den Geologen wegen der Umstände, unter welchen sie auftreten, von allergrößtem Interesse sind.

Quellen, welche aus hinreichender Tiefe aufsteigen, um sehr hohe Temperatur mitzubringen, deren Herd also bei aller Unsicherheit der Anhaltspunkte einige Tausend Fuß unter Tage liegt, treten in der großen Mehrzahl der Fälle auf Spalten auf, sie halten sich an Gebiete tektonischer Störungen und spielen daher sehr häufig eine ähnliche Rolle als Zeugen noch fortdauernder Bewegungen im Innern wie die Erdbeben und Vulkane. Wir haben gesehen, daß die Verwerfung, welche den Wiener Kesselbruch gegen Westen begrenzt, von einer ganzen Reihe von warmen Quellen bei Baden, Vöslau und andern Orten begleitet ist: es ist die „Wiener Thermenlinie". In ähnlicher Weise stehen die berühmten heißen Quellen im nördlichen Böhmen mit dem südlichen Abbruche des Erzgebirges in

Verbindung, und ähnlicher Beispiele kann eine ganze Reihe angeführt werden. Namentlich sind Vulkangebiete, thätige wie erloschene, reich an heißen Quellen, so häufig, daß es gar nicht möglich ist, alle einzelnen Fälle anzuführen. Die allbekannten und in staunenswerter Großartigkeit entwickelten Vorkommnisse auf Island, im Yellowstone Park in Nordamerika und auf Neuseeland sind besonders auffallende Beispiele, zu denen sich noch Hunderte von andern gesellen ließen. Überhaupt ist es nicht möglich, zwischen dem Ausbruche eines Vulkanes und den Erscheinungen einer heißen Quelle eine Grenze zu ziehen. Der Wasserdampf ist ein Hauptagens bei den fürchterlichsten Paroxysmen eines Feuerberges, seine Explosionen bewirken hier gerade die augenfälligsten Erscheinungen; Ausströmungen von Wasserdampf und heißem Wasser begleiten die Ausbrüche, und wenn der Vulkan in Ruhe zurücksinkt, treten diese beiden nur noch allein, ohne feste Produkte auf. Lange Zeit noch, wohl Hunderttausende von Jahren hindurch, bleiben die beiden als Reste der eruptiven Thätigkeit zurück.

Außer dem warmen Wasser finden sich auch sehr häufig Gasausströmungen, namentlich von Kohlensäure, als Überreste der vulkanischen Erscheinungen vor[1]. Oft benutzen sie dieselben Spalten wie das heiße Wasser, um an die Oberfläche zu gelangen, dann mischen sich beide und treten als heiße Kohlensäuerlinge zu Tage; nicht selten aber schlägt das Gas einen selbständigen Weg nach oben ein, trifft jedoch auf diesem in höhern Regionen auf eine kalte Quelle und strömt mit dieser zusammen aus. Diese Thatsache erklärt uns auch, wie es kommt, daß in einer und derselben Region nebeneinander beide Arten von Säuerlingen, heiße und kalte, vorkommen; ein solcher Fall liegt z. B. in den böhmischen Bädern vor, wo Teplitz, Karlsbad und Franzensbad den ersten, Marienbad und eine Menge andrer den zweiten Typus darstellen.

Nachstehend seien die Analysen einiger wichtiger Quellen angeführt: 1) Karlsbader Sprudel; 2) Therme von Gastein; 3) Quelle von Pfäfers; 4) Wiesbaden, Kochbrunnen; 5) Ems, Kesselbrunnen; 6) Pyrmont, Brodelbrunnen.

Enthält in 1000 Teilen:	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kohlensaures Natron	1,3619	0,0052	0,0061	—	1,4063	—
Kohlensauren Kalk	0,2078	0,0474	0,1306	0,4180	0,1525	0,8660
Kohlensaure Magnesia	0,1240	0,0036	0,0531	0,0104	0,1197	0,0083
Kohlensaures Eisenoxydul	0,0028	0,0068	0,0017	0,0056	0,0021	0,0530
Kohlensaures Manganoxydul	0,0006	0,0026	—	0,0006	0,0002	0,0054
Kohlensauren Baryt	—	—	0,0006	Spur	0,0010	—
Kohlensauren Strontian	0,0008	—	0,0015	Spur	0,0014	—
Schwefelsaures Kali	0,1636	0,0014	0,0075	—	0,0437	0,0160
Schwefelsaures Natron	2,3721	0,1975	0,0329	—	0,0156	0,0436
Schwefelsauren Kalk	—	—	—	0,0902	—	0,8668
Schwefelsaure Magnesia	—	—	—	—	—	0,6041
Schwefelsauren Baryt	—	—	—	—	—	0,0003
Schwefelsauren Strontian	—	—	—	—	—	0,0080
Chlornatrium	1,0306	0,0476	0,0493	6,8356	1,0313	0,1810
Chlorkalium	—	—	—	0,1458	—	—
Chlorcalcium	—	—	—	0,4710	—	—
Chlormagnesium	—	—	—	0,2039	—	—
Phosphorsauren Kalk	0,0002	—	—	0,0004	—	0,0004
Phosphorsaure Thonerde	0,0004	0,0054	0,0009	—	0,0002	0,0003
Kieselsäure	0,0728	0,0315	0,0141	0,0590	0,0485	0,0358
Sonstiges	0,0036	—	0,0006	0,0211	0,0095	0,0037
Summa der festen Bestandteile	5,4316	0,3490	0,2960	8,2625	2,8323	2,6936
Kohlensäure	0,7604	0,0067	0,0971	0,5082	1,6493	2,8930

[1] Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, daß alle Kohlensäureausströmungen vulkanischer Natur sind.

In dem Gehalte an Kohlensäure und der wenigstens bei vielen vorhandenen hohen Temperatur liegt auch der Grund, warum die meisten dieser Quellen „Mineralquellen" sind, d. h. warum sie eine größere Menge von Mineralbestandteilen gelöst enthalten als andre Quellen, in einem Maße, daß sich diese Beimischung dem Geschmackssinne in der Regel sehr deutlich zu erkennen gibt. Während reines Wasser von niederer Temperatur die meisten Gesteine nur wenig angreift, ist das in höherm Grade der Fall, wenn dasselbe warm ist oder Kohlensäure führt oder beide Eigenschaften vereinigt. Infolgedessen lösen diese Säuerlinge je nach der Natur des Gesteines, durch das sie laufen, größere oder geringere Mengen von Mineralteilen auf und bringen sie mit an die Oberfläche. Sehr widerstandskräftigen Gesteinen allerdings können auch sie nicht viele Bestandteile entziehen, wie das z. B. bei den heißen, kohlensäurereichen Quellen von Teplitz der Fall ist; sie entströmen einem Quellspalte in einem sehr wenig zersetzbaren Quarzporphyre und enthalten infolgedessen nur sehr wenig feste Bestandteile, sie bilden eine sogenannte „indifferente Quelle". Ähnlich verhalten sich die Quellen von Gastein, Pfäfers ꝛc. (s. die Tabelle auf S. 377).

Geiser und Schlammvulkane.

Eine sehr merkwürdige und eigentümliche Gattung heißer Quellen stellen die sogenannten Geiser dar. Sie sind heiße Springquellen, die jedoch nicht unausgesetzt thätig sind, sondern in größern oder kleinern Zwischenräumen mit gewaltiger Heftigkeit ausbrechen und ihre Wassermassen hoch in die Luft schleudern.

Am längsten bekannt sind solche Quellen aus Island, unter denen die bedeutendste, der Große Geiser, der ganzen Kategorie den Namen gegeben hat. Das Geiserthal liegt am Rande der großen Gletscherwüste, welche das Hochplateau der Insel bildet, in einer Höhe von etwa 110 m über dem Meere. „In einer etwa 2 Meilen breiten Ebene, die sich vom Fuße des Blafell gegen das Ufer des Meeres erstreckt und sich hier mit dem flachen, moorigen Küstenlande verbindet, liegt das Quellensystem des Großen Geisers am Fuße eines aus schieferigem Klingsteine und grauem Trachyte zusammengesetzten Hügels. Das weite Thal ist mit einem dichten grünen Teppiche üppiger Wiesengründe bedeckt, mehrere größere und kleinere Flüsse winden sich wie silberne Bänder durch die grasreiche Ebene.... Schon aus der Ferne bemerkt der Reisende an verschiedenen Stellen weiße, leichte Dämpfe, die über dem Boden hinziehen, oder kräftigere Rauchsäulen wolkenförmig emporwirbeln; bald aber wird er in ein kompliziertes System größerer und kleinerer warmer Quellen und Kochbrunnen eingeführt, die hier aus einer gemeinsamen Spalte in nordnordöstlicher Richtung hervorbrechen.

„Der Geiser entsteigt einem Untergrunde von sehr jungen Anschwemmungen und ist durch eine dicke Schicht von Kieselsinter, dem Absatze der Quellen, allmählich umlagert worden. Von horizontalen Schichten dieses Quellenabsatzes hat sich rings um den Geiser in größern Verhältnissen, in kleinern um die andern Sprudel, ein flacher Eruptionskegel gebildet, in dessen Mitte eine senkrechte cylindrische Röhre von weiterm oder engerm Durchmesser von der Art eines Brunnens in die Tiefe führt. Der Große Geiser besitzt einen abgestumpften Eruptionskegel von aschgrauer Farbe, er ist gegen Osten unter einem Winkel von 8 bis 10° geböscht, gegen Westen beträgt seine Neigung nur etwa 7°; in diesen Kegel versenkt sich ein flaches Becken von etwa 17 m Durchmesser, in dessen Mitte das Rohr des Kochbrunnens, mit einem dreimal kleinern Durchmesser von senkrechten Wänden umrahmt, sich 23,5 m in die Tiefe senkt. Daß sich von hier ab verborgene Kanäle weiter verzweigen mögen, ist im höchsten Grade wahrscheinlich. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken

mit kristallklarem, seegrünem Wasser, welches (an der Oberfläche) eine Temperatur von 82° C. besitzt, erfüllt und läuft in drei kleinen Abflußrinnen über die nach Osten gewendete Böschung des Kegels. Nach einiger Zeit vernimmt man unterirdisches Donnern, das, wenn auch viel weniger laut, demjenigen durchaus ähnlich ist, welches die Vulkane während ihrer Ausbrüche von sich geben. Die Oberfläche des Geiserkegels wird dabei in zitternde Bewegung versetzt. Während diese Erscheinung einige Sekunden fortdauert, dann bisweilen nachläßt, um desto stärker wieder zu beginnen, schwillt das Wasser im Becken, es wird nach oben konvex gewölbt, und zugleich steigen große Dampfblasen hervor, welche an der Oberfläche zerplatzen und das Wasser einige Meter hoch emporschleudern. Darauf wird es still, dichter weißer Dampf, der schon von einem leichten Winde über die Ebene fortgetrieben wird, umhüllt für kurze Zeit das Bassin. In sehr regelmäßigen Zwischenräumen von einer Stunde und 20 bis 30 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung einen Tag und auch wohl länger ohne Unterbrechung, bis sie plötzlich einen etwas andern Charakter annimmt. Dann wird stärkeres Donnern aus der Tiefe vernommen, das Wasser schwillt im Bassin, schlägt hohe Wellen und wirbelt umher, in der Mitte erheben sich gewaltige Dampfblasen, und nach wenigen Augenblicken schießt ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöst, in die Luft; er hat kaum eine Höhe von 80 bis 100 Fuß erreicht, und seine einzelnen Perlen sind noch nicht im Zurückfallen begriffen, so folgt ein zweiter und dritter höher emporsteigender dem ersten nach. Größere und kleinere Strahlen verbreiten sich nun in allen Richtungen, einige sprühen seitwärts, kürzern Bogen folgend, andre schießen aber senkrecht empor mit sausendem Zischen, wie die Raketen eines Feuerwerkes, ungeheure Dampfwolken wälzen sich übereinander und verhüllen zum Teile die Wassergarbe; nur noch ein Stoß, ein dumpfer Schlag in der Tiefe, dem ein spitziger, alle andern an Höhe übertreffender Strahl, auch wohl von Steinen begleitet, nachfolgt, und die ganze Erscheinung stürzt, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert, in sich zusammen wie eine phantastische Traumgestalt beim Einbruche des Morgens. Ehe sich noch der dichte Dampf im Winde verzogen und das siedende Wasser an den Seiten des Kegels abgelaufen ist, liegt das vorhin ganz mit Wasser erfüllte Bassin trocken, mit aschgrauen Sinterperlen überdeckt, vor dem Auge des herannahenden Beobachters, der im tiefer führenden Rohre fast 2 m unter dem Rande das Wasser ruhig und still wie in jedem andern Brunnen erblickt. Sehen muß man dieses Schauspiel, beschreiben läßt es sich nur ungenügend; sein Anblick allein ist hinreichend, um den Naturforscher reichlich zu entschädigen für die Anstrengungen, Entbehrungen und selbst Gefahren seiner so mühsamen und eintönigen Reise." (Nach Sartorius von Waltershausen mit wenigen Kürzungen.)

Außer dem Großen Geiser liegen hier auf kleinem Raume noch 40—50 Kochquellen und Sprudel beisammen, unter welchen der Strokkur (das Butterfaß) weitaus am größten ist. Über denselben berichten Preyer und Zirkel folgendermaßen: „Der Strokkur liegt nur etwa 100 Schritt vom Großen Geiser entfernt, sein äußeres Ansehen ist aber von diesem sehr verschieden; er hat sich an seiner Mündung keinen hohen Eruptionskegel von Kieseltuff aufgebaut, sondern seine Öffnung ist nur von einem wulstförmigen, kaum 4 Zoll hohen Rande umsäumt, welcher aus einem braunen, festen Sinter besteht. Unmittelbar von der Oberfläche senkt sich die Röhre hinab; an der Mündung hat dieser Kanal einen Durchmesser von 7⅓ Fuß, in einer Tiefe von 26 Fuß aber verengert er sich so sehr, daß er nur noch eine Breite von 1 Fuß besitzt. Das Wasser steht gewöhnlich 10—13 Fuß unter der Oberfläche und ist fortwährend in starkem Wallen und Aufkochen begriffen, ohne dabei höher anzusteigen oder tiefer hinabzusinken.

„Nachdem wir eine flüchtige Rundschau unter allen den verschiedenen Kochbrunnen gehalten, beschlossen wir, uns davon zu überzeugen, ob man wirklich, was frühere Reisende

teils versichern, teils verneinen, im stande ist, den Strokkur durch Hineinwerfen von Erde und Steinen in dem untern Teile seiner Trichterröhre zu verstopfen und zu einer Eruption zu zwingen. Rasch waren wir alle sieben damit beschäftigt, breite Platten und größere Blöcke von Kieseltuff herbeizuschleppen, größere Rasenschollen auszustechen, Erde herbeizutragen und in den Strokkurschlund hinabzustürzen; allein nach halbstündiger anstrengender Arbeit war noch keine Veränderung in der Höhe und dem Gebaren der Wassersäule eingetreten, wiewohl wir dem Ungeheuer beträchtliche Ladungen in den gähnenden Rachen geworfen. Wir verzichteten nun darauf, jenes Schauspiel zu genießen, und zogen uns nach dem etwa 4 Minuten entfernten Gehöfte Laugar zurück, um uns etwas von der Anstrengung zu erholen. . . .

„Während wir zu den Geisern zurückschlenderten, schlug plötzlich ein dumpfer Laut an unser Ohr, und siehe da, in der Gegend, wo der Strokkur lag, stieg mit unbeschreiblicher Gewalt eine mächtige Dampfsäule zu den Wolken empor; ihr folgte, eingehüllt in dichte Massen von Dampf, eine kolossale Wassersäule, welche unter furchtbarem, brüllendem Geräusche aus dem Schlunde emporgeschleudert wurde und sich in die Luft zu außerordentlicher Höhe erhob. Kaum hatte diese Wassermasse begonnen wieder zurückzusinken, als neue, mit verdoppelter Kraft und noch betäubenderm Tosen hervorbrechende Garben das Spiel weiter fortsetzten. Bisweilen trat für einige Augenblicke eine Pause ein, und dann spritzten nach allen Richtungen mit zischendem Geräusche kleinere Strahlen siedenden Wassers aus der Mündung hervor, den Dampf durchbrechend, der diese einhüllte. Die Höhe, bis zu welcher diese Säulen emporstiegen, war unregelmäßig, bald größer, bald kleiner, manche erreichten wenigstens 80—100 Fuß. Das Wasser war durch die zerkochten Erdschollen und Rasenstücke schokoladefarbig und braungelb gefärbt. Steine, mit denen wir die Röhre verstopft hatten, wurden zu Höhen emporgeschleudert, daß sie fast unsern Blicken entschwanden; manche von ihnen stiegen in so genau senkrechter Richtung auf, daß sie wieder in die Röhre zurückfielen und als riesige Bälle dem mächtigen Springbrunnen zum Spielzeuge dienten; zuletzt nahm die Höhe der Wassergüsse immer mehr ab, unvermutet schossen wie Blitze noch einmal ein paar nacheinander hoch hinauf in die Lüfte, aber dann war die ganze Erscheinung nach 6 Minuten verschwunden. Als keine Gefahr mehr vorhanden war, unversehens verbrüht zu werden, näherten wir uns dem Brunnenrohre, in dessen Mündung der Boden noch ganz mit heißem, schmutzigem Wasser überschwemmt war, und schauten neugierig in den Trichter hinab. Wer an Schwindel leidet, darf dem Rande nicht zu nahe treten. Der Bauer in Laugar erzählte mir, daß mitunter Kühe, Pferde und Schafe in die Tiefe hineinfallen und in einem gänzlich zerkochten Zustande wieder ausgeworfen werden.

„Die Wassersäule im Innern hatte ein tieferes Niveau als vor der Eruption und wallte in heftigem Kochen auf; bisweilen schwoll ihre Oberfläche noch einmal halbkugelartig an und schien sich heben zu wollen, aber es platzten nur die Beulen und Blasen auf der Brandung. Etwa 150 Schritt von dem Großen Geiser liegen mehrere ausgedehnte Teiche, deren Schönheiten kaum zu beschreiben sind. Die Umrisse sind unregelmäßig, jeder etwa 15—20 Fuß breit und 30 Fuß tief, angefüllt bis an den Rand mit ganz ruhigem, fast kochendem Wasser, so klar wie Kristall und so durchsichtig, daß man bis auf den Grund sehen konnte. Die einzelnen Bassins sind durch schmale Scheidewände voneinander getrennt, welche ebenso wie die andern Seiten aus Kieselsinter bestehen; die weißen Zacken und Spitzen, welche in den phantastischsten Formen die Wände dieser Grotten oft mit farnkrautartiger Feinheit bekleiden, scheinen durch das bald seladongrüne, bald amethystblaue Wasser in wunderbarer Pracht. In der Nähe dieser Grotten befindet sich der Kleine Strokkur, welcher jede halbe Stunde große Dampfmassen entwickelt und dann sein Wasser 6—10 Fuß hoch emporschleudert; die Dauer eines solchen Ausbruches beträgt nur 30 Sekunden.

„Das Wasser sämtlicher Kochbrunnen setzt die Kieselerde, die es in ansehnlicher Menge unter starkem Drucke und hoher Temperatur aus den Gesteinsmassen aufgelöst hat, in Form von Tuffen und Sinter ab[1]. Auf weite Erstreckung besteht die Oberfläche in der Umgebung dieser Sprudel aus einer starken Kruste solcher Absätze, aus welchen auch die Becken und Röhren der Quellen aufgebaut sind. Die rieselnden Bäche, welche dem Becken entfließen, setzen in ihrem Bette und besonders stark an ihren Ufern Rinden von Kieselsinter ab, welche meist aus feinen, papierdünnen, wellenförmig übereinander liegenden Schichten bestehen; namentlich das Bächlein Bacna zeichnet sich aus durch Schönheit und Menge der Petrefakten an seinen Ufern. Auch alle Körper, welche vom Wasser dieser Quellen benetzt werden, überziehen sich in kurzer Zeit mit einer dickern oder dünnern Kruste. So kommen in der Nähe der Geiser verkieselte Pflanzenreste in besonders großer Menge vor. Die zartesten Nerven von Birken- und Weidenblättern, die feinsten gesägten Rippen an der Oberfläche von Schachtelhalmen sind höchst getreu abgedrückt; unzählige Abdrücke von Gräsern und Zweigen von kleinen kriechenden Gesträuchen, ja von Blumen finden sich in seltener Schönheit in den Tuffen eingeschlossen; ganze Torfstücke sind in Kieselsinter und fingerdicke Reiser in einen dunkelbraunen Holzstein umgewandelt. Während wir beschäftigt waren, von diesen zarten Gebilden zu sammeln, wurden wir durch einen Anblick überrascht und entzückt, der wenigen der frühern Reisenden zu teil geworden ist, durch eine riesenhafte freiwillige Eruption des Strokkur. Hinter unserm Rücken ertönte plötzlich unterirdisches Donnern, um den Strokkur schoß eine Säule dichten weißen Dampfes mit Pfeilgeschwindigkeit in die Lüfte; in der Mitte umhüllte dieselbe einen cylindrischen Wasserstrahl von mindestens 10 Fuß Durchmesser, welcher sich nach oben zu wie eine kolossale Pinie in verschiedene Arme zerteilte, deren Spitzen, in blendend weißen Staub gelöst, nach allen Richtungen hin zerstoben; kaum war die Säule ebenso rasch, wie sie in die Höhe emporstieg, auch wieder bis zur Hälfte zurückgesunken, als sie sich mit erstaunlicher Schnelligkeit und betäubendem Gebrülle zu noch größerer Höhe erhob, so daß man sie kaum mit den Augen verfolgen konnte. Aus der Dampfhülle fuhren wie Raketen mit sausendem Zischen unzählige andre Strahlen in geneigten Bogen hervor, welche sich ebenfalls in feinen Staubregen auflösten, dessen Perlen langsam zur Erde fallen; unermeßliche Dampfwolken umlagern die ganze Erscheinung. Bald scheint es, als ob die riesigen Kräfte erschöpft seien und die ermattete Säule zusammenbrechen wollte, aber nur, um mit noch größerer Geschwindigkeit unter noch lauterm Donner in noch nicht erreichte Höhen emporzusteigen. So groß war die Gewalt des Dampfes, daß, obschon der Wind ziemlich stark ging, die Säule um nichts von ihrer senkrechten Richtung abgelenkt wurde. Dies wunderbare Schauspiel dauerte 15 Minuten, bis endlich die Gewalt ausgetobt hatte und die Wassersäule zusammenstürzte, um sich nicht wieder zu erheben; die höchste Höhe, welche sie erreichte, betrug 140 Fuß."

Zur Erklärung dieser Erscheinungen sind mehrfache Theorien ersonnen worden; **Mackenzie** nahm die Existenz unterirdischer Hohlräume an, die wie Dampfkessel fungieren und abwechselnd mit Dampf und mit heißem Wasser gefüllt sind; von diesen aus soll dann der Ausbruch durch verbindende Kanäle in das Geiserrohr verpflanzt werden. Diese

[1] Nach einer Analyse von Fr. **Sandberger** ist das Wasser des Großen Geisers aus folgenden Bestandteilen zusammengesetzt:

Kieselsäure	0,5097	Schwefelsaure Magnesia	0,0042
Kohlensaures Natron	0,1939	Chlornatrium	0,2521
Kohlensaures Ammoniak	0,0083	Schwefelnatrium	0,0088
Schwefelsaures Natron	0,1070	Kohlensäure	0,0657
Schwefelsaures Kali	0,0175	Wasser	98,8128
			100,0000

Ansicht, welche von Krug von Nidda und G. Bischoff erheblich vervollkommt wurde, stimmt jedoch nicht mit den Thatsachen überein, die besonders am Großen Geiser genau untersucht sind. Abgesehen davon, daß die Menge des ausgeschleuderten Wassers genau der im Geiserrohre eintretenden Niveauerniedrigung entspricht, ist namentlich eine merkwürdige Beobachtung von Bunsen schwer mit derselben zu vereinigen: dieser senkte ein registrierendes Thermometer vor einem der großen Ausbrüche auf den Grund des Geiserrohres und fand, daß dasselbe nach dem Paroxysmus unverletzt war, und daß überdies während desselben die Temperatur in der Tiefe des Rohres nicht hoch genug gestiegen war, um daselbst das Wasser zum Kochen zu bringen. Daraus geht natürlich hervor, daß die Explosionen nicht durch das Eindringen von Dampf in den untersten Teil des Rohres entstanden sein können, wie es von Mackenzie und seinen Nachfolgern angenommen wurde, denn sonst wäre vor allem das Thermometer herausgeschleudert worden, oder wenn dieses durch ein Wunder nicht geschehen wäre, hätte es eine höhere Temperatur anzeigen müssen.

Auf Grund seiner Beobachtungen hat Bunsen eine sehr schöne Geisertheorie aufgestellt, welche jetzt von der großen Mehrzahl aller Geologen angenommen wird und jedenfalls am meisten Wahrscheinlichkeit für sich hat, wenn ihr auch noch einzelne sekundäre Schwierigkeiten entgegenstehen mögen. Wir wollen mit einigen Kürzungen und Änderungen diese Theorie mit Bunsens eignen Worten kennen lernen:

„Leicht erkennt man in den Sinterabsätzen das Baumaterial, dessen sich die Natur bedient, um die schönen, wie durch Kunst geschaffenen Geiserapparate aufzuführen. Jede auf ebenem Boden aus tiefen Klüften von höherer Temperatur emporbringende Kochquelle enthält in den inkrustierenden Eigenschaften ihres Wassers alle Bedingungen vereinigt, um sich im Laufe der Jahrhunderte entweder zu einer natürlichen Springquelle oder zu einem Geiser umzubilden. Wo das inkrustierende Wasser solcher Quellen sich fortwährend über die Umgebung ergießt, wird der Boden fortwährend durch Kieselablagerungen erhöht und, da der Verdunstungsprozeß in weiterer Entfernung durch allmähliche Abkühlung des Wassers verlangsamt wird, ein kraterartiger Kegel erzeugt, dessen oft wunderbare Regelmäßigkeit aus den durch den Kieselabsatz selbst bedingten Veränderungen des Abflusses erklärlich ist.

„Der im Zentrum eines solchen Kegels befindliche Quellenschacht, dessen Wandungen durch das stets von unten erneuerte, der Verdunstung also weniger ausgesetzte Wasser vor einem weitern Kieselansatze geschützt bleibt, baut sich oft zu einer nicht minder regelmäßig geformten Röhre auf, an deren oberer Mündung sich nicht selten ein flaches Becken bildet. Ist eine solche Röhre, je nachdem es das ursprüngliche Verhalten der Quelle mit sich brachte, verhältnismäßig eng, und wird sie von einer nicht zu langsam hervordringenden, stark erhitzten Wassersäule erfüllt, so muß eine kontinuierliche Springquelle entstehen, wie man deren an vielen Stellen in Island beobachtet. . . . Ist dagegen die durch den Inkrustationsprozeß gebildete Geiserröhre hinlänglich weit, um von der Oberfläche aus eine erhebliche Abkühlung des Wassers zu gestatten, und tritt der weit über 100° erhitzte Quellenstrang nur langsam in den Boden der weiten Röhre ein, so finden sich in diesen einfachen Umständen alle Bedingungen vereinigt, um die Quelle zu einem großen Geiser zu machen, der periodisch durch plötzlich entwickelte Dampfkraft zum Ausbruche kommt und unmittelbar darauf wieder zu längerer Ruhe zurückkehrt. Der Große Geiser erscheint als die bedeutendste unter diesen Quellen; seine Röhre ist, wie eine genaue Aufnahme ergab, cylindrisch mit geneigtem Boden. Unmittelbar nach erfolgter Eruption steigt das 1—2 m tief in der Röhre stehende Wasser allmählich während einiger Stunden bis an den Rand des Beckens, wo es ruhig in Gestalt einer kleinen Kaskade über den Kegel abfließt. Es läßt sich zunächst leicht durch Versuche nachweisen, daß die die Röhre erfüllende Flüssigkeitssäule fortwährend von unten durch eindringendes Wasser von hoher Temperatur erhitzt

wird, während sie von oben an dem großen Wasserspiegel des Beckens eine stete Abkühlung erleidet, wobei in dem Geiserrohre auf- und absteigende Strömungen erzeugt werden.

„Die Temperaturveränderungen, welche die Wassersäule in ihren verschiedenen Schichten in der Zwischenzeit zwischen zwei Ausbrüchen erleidet, haben den Gegenstand einer Reihe thermometrographischer Messungen ausgemacht, welche Herr Des Cloizeaux und ich am Geiser gemeinschaftlich ausgeführt haben. Das nachstehende Schema enthält einen Teil unsrer Resultate in übersichtlicher Zusammenstellung:

6. Juli 8h 20m p. m.		7. Juli 2h 55m p. m.		7. Juli 7h 58m p. m.	
Höhe über dem Boden	Temperatur	Höhe über dem Boden	Temperatur	Höhe über dem Boden	Temperatur
0 m	123,6° C.	0 m	127,5° C.	0 m	126,5° C.
4,3 -	122,7° „	5 -	123,0° „	— -	— „
9,6 -	113,0° „	9 -	120,4° „	9,85 -	121,8° „
14,4 -	85,8° „	14,75 -	106,4° „	14,75 -	110,0° „
19,2 -	82,6° „	19,55 -	85,2° „	19,55 -	84,7° „

„Es ergibt sich daraus: 1) daß die Temperatur der Geiserkolonne von unten nach oben abnimmt; 2) daß die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an allen Punkten der Säule mit der seit der letzten Eruption verflossenen Zeit in stetem Steigen begriffen ist; 3) daß dieselbe an keinem Punkte selbst bis einige Minuten vor dem großen Ausbruche in der ruhenden Wassersäule den Kochpunkt erreicht, der dem Atmosphären- und Wasserdrucke am Orte der Beobachtung[1] entspricht; 4) daß die Temperatur in der mittlern Höhe des Geiserrohres dem daselbst der drückenden Wassersäule entsprechenden Kochpunkte am nächsten liegt und um so näher rückt, je mehr der Zeitpunkt einer großen Eruption herannaht.

„Faßt man zunächst die Periode ins Auge, welche der Eruption unmittelbar vorangeht, so ergibt sich, daß nur ein sehr geringer Anstoß nötig ist, um einen großen Teil der Wassersäule plötzlich zum Kochen zu bringen und, wie sich sogleich ergeben wird, in Eruption zu versetzen; jede Ursache nämlich, welche die Wassersäule nur um einige Meter emporhebt, muß diese Wirkung haben. Denkt man sich eine solche Hebung um 2 m, so wird dadurch die lastende Flüssigkeitssäule entsprechend verkürzt, der Druck vermindert, dadurch gerät ein Teil des Wassers ins Kochen, und es bildet sich Dampf; dieser hebt das Wasser noch weiter, immer größere Mengen desselben geraten in Druckverhältnisse, unter denen sie kochen, und so pflanzt sich die Dampfentwickelung auf den größten Teil der Wassersäule fort[2].

„Ist es demnach einleuchtend, daß die Wassersäule im Geiserrohre vom Mittelpunkte aus auf eine gewisse Erstreckung hin plötzlich ins Kochen gerät und, durch den dabei gebildeten Dampf gehoben, succesſive unter den Druck von nur einer Atmosphäre gelangt, so läßt sich anderseits leicht nachweisen, daß die bei diesem Verdampfungsprozesse entwickelte mechanische Kraft mehr als hinreichend erscheint, um die ungeheure Wassermasse des Geisers bis zu der erstaunenswerten Höhe emporzuschleudern, welche diesem schönen Eruptionsphänomen einen so großartigen Charakter verleiht. . . . Die ganze Geiserkolonne, von dem Punkte an gerechnet, wo ihre Temperatur 100° C. beträgt, bis zum Boden, würde eine Dampfsäule von 1041 m ergeben; daß diese ungeheure Kraft sich nicht in einem einzigen Eruptionsstrahle erschöpfen kann, ist leicht begreiflich, denn die in der Luft abgekühlten Wasserstrahlen des Ausbruches stürzen fortwährend in das Geiserrohr zurück und unterbrechen die Kraft der empordringenden Dampfsäule auf Augenblicke dadurch, daß der Dampf

[1] Der Leser erinnert sich, daß das Wasser unter größerm Drucke erst bei höherer Temperatur siedet.

[2] In den letzten Zeilen mußte Verfasser, um gemeinverständlich zu bleiben, sich sehr erheblich vom Wortlaute der Bunsenschen Darstellung entfernen.

in dem abgekühlt zurückstürzenden Wasser so lange verdichtet wird, bis die Temperatur des letztern wieder auf den Kochpunkt gestiegen ist und es dadurch von neuem die Fähigkeit erlangt, emporgeschleudert zu werden. Daß die Unterbrechung der gleichsam in Schüssen aus dem Rohre hervorbrechenden Wassergarben in der That diesem Umstande beizumessen ist, davon kann man sich leicht durch die Wahrnehmung überzeugen, daß zwischen den einzelnen emporsteigenden Strahlen das Wasser aus dem Bassin in die Röhre zurückströmt und selbst auf Augenblicke mit Gewalt von derselben eingesogen wird. Diese Erscheinung erklärt zugleich die oft auf einen Zeitraum von mehr als 4 Minuten verlängerte Dauer der großen Eruptionen.

„Es bleibt nur noch zu erklären, durch welche Ursache die Wasserkolonne jene Hebung erleidet, die den ersten Anstoß zur Eruption gibt. Ein großer Teil der isländischen Thermen zeigt die Eigentümlichkeit, daß sich periodisch an gewissen Stellen in dem Wasser des Quellbassins eine große Anzahl von Dampfblasen bildet, die beim Aufsteigen in eine obere kältere Schicht plötzlich wieder verdichtet werden. Es entsteht dadurch stets eine kleine Detonation, die von einer halbkugelförmigen Hebung und gleich darauf wieder erfolgenden Senkung der Wasseroberfläche begleitet ist. Auch der Große Geiser ist durch eine periodische Folge solcher Dampfdetonationen charakterisiert, die erst 4—5 Stunden nach einer großen Eruption ihren Anfang nehmen und sich dann in Zwischenzeiten von 1 bis 2 Stunden bis zum nächsten Ausbruche wiederholen. Eine solche Hebung ist aber nicht eher im stande, irgend eine Wasserschicht in eine Höhe zu versetzen, wo sie infolge der daselbst stattfindenden Druckverminderung ins Kochen geraten könnte, bis die Wassermasse durch allmähliche Erhitzung die etwas höhere Temperatur angenommen hat, welche einige Minuten vor dem wirklich eintretenden Ausbruche in der That beobachtet wurde. Alle übrigen dieser Periode vorangehenden Hebungen dagegen werden nur im stande sein, die untern erhitzten Wassermassen durch Stoß in den obern Teil der Geiserröhre teilweise emporzutreiben, wo diese Massen unter dem verminderten Drucke ins Kochen geraten und die kleinen mit geringen Eruptionen verbundenen Aufkochungen bewirken, die man zwischen den größern Ausbrüchen beobachtet. Diese kleinen Eruptionen sind daher gleichsam mißlungene Anfänge der großen, die sich von dem Ausgangspunkte der Dampfbildung wegen der noch zu niedrigen Temperatur der Wassersäule nur auf kurze Erstreckungen hin fortpflanzen können."

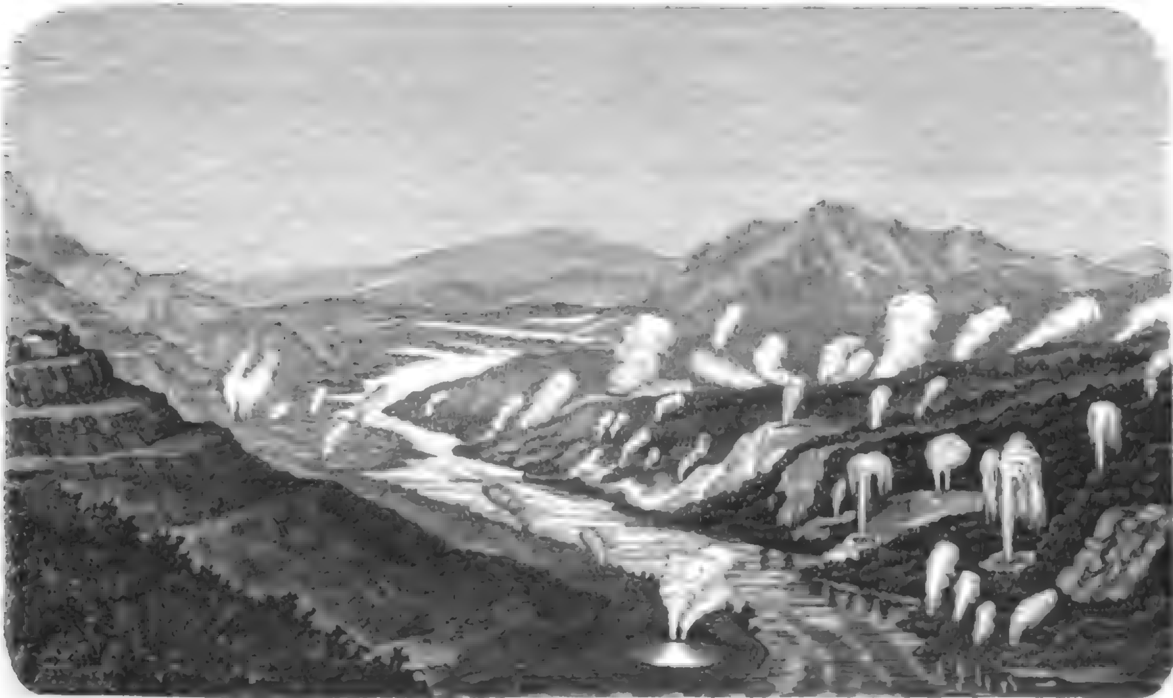
Diese ebenso geistreiche wie einfache Hypothese erklärt die Erscheinungen am Großen Geiser sehr gut; es wird sich nun fragen, ob sie in derselben Weise auch den ähnlichen Erscheinungen in Neuseeland und im Yellowstone Park entspricht.

Die Geisererscheinungen **Neuseelands** sind namentlich von F. von **Hochstetter** näher untersucht worden. Die überaus zahlreichen Springquellen, Kochbrunnen, Solfataren, Schlammausströmungen &c. befinden sich auf der Nordinsel längs einer Zone, welche von dem im Zentrum gelegenen Tauposee gegen Nordosten nach der Plentybai verläuft. Zu den wunderbarsten Erscheinungen hier gehören die **Quellen des Waikato-Thales** bei Orakeikorako, welche **Hochstetter** folgendermaßen schildert:

„Den 24. April. Das Wetter hatte sich in der Nacht ausgetobt, morgens lag dichter Nebel über dem Waikato, er hob sich aber bald, die Sonne schien freundlich ins Thal, und nun — welches Schauspiel! Reißenden Laufes, Stromschnelle hinter Stromschnelle bildend, stürzt der Waikato durch ein enges, tief zwischen steil ansteigenden Bergen eingerissenes Thal; seine Wasser wirbeln und schäumen um zwei kleine, mitten im Strombette liegende Felsinseln und schießen brausend durch die Thalenge. An den Ufern aber steigen weiße Dampfwolken auf von heißen Kaskaden, die in den Fluß fallen, und von Kesseln voll siedenden Wassers, die von weißer Steinmasse umschlossen sind. Dort steigt eine dampfende Fontäne in die Höhe und sinkt wieder nieder, jetzt erhebt sich an einer andern Stelle eine

zweite Fontäne, auch diese hört auf; da fangen aber zwei zu gleicher Zeit an zu springen, eine ganz unten am Flußufer, die andre gegenüber auf einer Terrasse, und es dauert das Spiel wechselnd fort, als ob mit einem kunstvoll und großartig angelegten Wasserwerke Versuche gemacht würden, ob die Springbrunnen auch alle gehen, die Wasserfälle auch genug Wasser haben. Ich fing an zu zählen alle die einzelnen Stellen, wo ein kochendes Wasserbecken sichtbar war, oder wo eine Dampfwolke ein solches andeutete. Ich zählte 76 Punkte, ohne jedoch das Gebiet ganz übersehen zu können, und darunter sind viele intermittierende, geiserähnliche Springquellen, welche periodische Wassereruptionen haben.

„Eine große, 120 Schritt lange und ebenso breite, aus weißlichem Kieselsinter bestehende Felsplatte, die sich als schiefe Fläche vom Fuße des Tutukanberges bis in den Waikato hineinzieht, eine wahre ‚Sprudelschale‘, umfaßt hier einige der merkwürdigsten und be-



Heiße Quellen und Geiser von Orakaikorako auf Neuseeland (nach Hochstetter).

deutendsten Quellen des ganzen Gebietes, vor allen die Puia te mimi-a-Homaite Range. Sie liegt dicht am Flußufer auf einem blasenförmig erhobenen Teile der Sprudelschale. Die Art und Weise, wie wir über die intermittierenden Eigenschaften dieses Sprudels belehrt wurden, zeigt, wie sehr Vorsicht notwendig ist, wenn man zum erstenmal und ohne kundigen Führer sich solchen Quellen nähert. Zwei meiner Reisegefährten wollten sich am frühen Morgen den Genuß eines Bades im Waikato verschaffen und hatten eben ihre Kleider in der Nähe eines Bassins voll siedenden Wassers niedergelegt, als sie plötzlich neben sich heftige Detonationen vernahmen und sahen, wie das Wasser in dem Becken heftig aufwallte; erschreckt sprangen sie zurück und hatten eben noch Zeit, einem Gußbade siedend heißen Wassers zu entrinnen, denn jetzt wurde aus dem Bassin unter Zischen und Brausen eine dampfende Wassersäule in schiefer Richtung gegen 20 Fuß hoch emporgeworfen; noch in größter Aufregung erzählten mir meine Gefährten ihr Abenteuer mit dem heimtückischen Geiser; als ich zur Stelle kam, da war längst wieder alles ruhig, und in dem 4—5 Fuß weiten Becken sah ich kristallhelles Wasser nur leicht aufwallen. Die erste Wassereruption, die ich selbst beobachtete, erfolgte um 11 Uhr 20 Minuten vormittags; das Becken war kurz vor der Eruption bis zum Rande voll; unter deutlich vernehmbarem murmelnden

Geräusche in der Tiefe des Beckens kam das Wasser in immer heftigeres Kochen und wurde dann plötzlich unter einem Winkel von 70° in südsüdöstlicher Richtung ausgeworfen, 20—30 Fuß hoch. Mit dem Wasser brachen unter zischendem Gebrause gewaltige Dampfmassen aus dem Kessel hervor, welche die Wassergarbe teilweise verhüllten. Diese dauerte 1½ Minute, dann nahm die auswerfende Kraft ab, das Wasser sprang nur noch 1—2 Fuß hoch, und nach 2 Minuten hörte unter einem gurgelnden Geräusche das Wasserspiel ganz auf. Als ich jetzt an das Bassin herantrat, war es leer, und ich konnte 8 Fuß tief hinabsehen in ein trichterförmig sich verengendes Loch, aus dem unter Zischen Wasserdampf entwich. Allmählich aber stieg das Wasser wieder empor, nach 10 Minuten war das Becken von neuem voll, und um 1 Uhr 36 Minuten nachmittags fand die zweite Eruption statt, um 3 Uhr 10 Minuten die dritte, die ich zu beobachten Gelegenheit hatte. Die Eruptionen scheinen demnach alle zwei Stunden einzutreten. Der Absatz dieser wie aller umliegenden Quellen ist Kieselsinter, der frische Absatz ist gelatineartig weich, allmählich erhärtet er zu einer zerreiblichen, sandig sich anfühlenden Masse, und endlich bildet sich aus den übereinander abgelagerten Schichten ein festes Gestein von der mannigfaltigsten Beschaffenheit an Farbe und Struktur an verschiedenen Stellen.

„Die Hauptquelle jedoch, welcher jene große Sprudelschale vorzugsweise ihre Entstehung verdankt, liegt dicht am Fuße der ansteigenden Hügel; es ist ein gewaltiger, beständig 2—3 Fuß hoch aufwallender Sprudel, dessen klares Wasser eine Temperatur von 98° C. zeigte. Der mich begleitende Häuptling erzählte mir, daß dieser Sprudel nach dem Erdbeben von Wellington im Jahre 1848 zwei Jahre lang ein Geiser gewesen sei, der gegen 100 Fuß hoch sprang (wohl etwas Übertreibung dabei) und mit furchtbarer Gewalt selbst große Steine, die man hineinwarf, wieder ausschleuderte."

Eine zweite nicht minder merkwürdige Lokalität auf Neuseeland bildet der auf derselben Zone wie Orakaikorako gelegene See Rotomahana, welcher zwischen dem Tauposee und der Küste ungefähr in der Mitte liegt; wir folgen auch hier der lebendigen Schilderung, welche Hochstetter von diesem merkwürdigen Orte entwirft:

„Ich glaube nicht, daß der erste Eindruck, welchen der kleine, schmutzig grüne See mit seinen sumpfigen Ufern und den öde und traurig aussehenden baumlosen, nur mit Farngestrüpp bewachsenen Hügeln, die ihn umgeben, macht, irgend den Erwartungen eines Reisenden entspricht, der soviel von den Wundern dieses Sees gehört hat. Er entbehrt jeglicher landschaftlicher Schönheit, das, was ihn zu einem der merkwürdigsten aller Neuseelandseen, ja zu einem der merkwürdigsten Punkte der ganzen Welt macht, muß ganz aus der Nähe betrachtet werden und liegt für das Auge des Ankommenden zumeist versteckt. Nur die überall aufsteigenden Dampfwolken lassen ihn ahnen, daß es hier wirklich etwas zu sehen gibt.

„Wir ließen uns auf der Insel Puai, einer Felsklippe im See, nieder, wo für zeitweilige Besucher kleine Hütten errichtet sind. Ich glaube aber, wer nicht wüßte, daß hier schon andre vor ihm wochenlang gewohnt haben, der würde sich nach näherer Untersuchung des Platzes nur schwer entschließen, auch nur eine Nacht hier zuzubringen. Es ist kaum anders, als ob man in einem thätigen Krater wohnen würde; rings um sich hört man fortwährendes Sausen und Brausen, Zischen und Kochen, und der ganze Boden ist warm. In der ersten Nacht fuhr ich erschreckt auf, weil es in der Hütte auf dem Boden, wo ich lag, trotz einer dicken Unterlage von Farnkraut und trotz der wollenen Decken, die mein Lager bildeten, nach und nach von unten her so warm wurde, daß ich es nicht mehr ertragen konnte. Ich untersuchte die Temperatur, stieß mit dem Stocke ein Loch in den weichen Thonboden und steckte das Thermometer hinein; es stieg augenblicklich auf Siedehitze, und als ich es wieder herauszog, strömte heißer Wasserdampf zischend hervor, so daß ich das Loch eiligst wieder verstopfte. In der That ist die Insel nichts andres als

ein zerrissener, zerklüfteter und durch heiße Dämpfe und Gase zersetzter lockerer Fels, der, förmlich weich gekocht in dem warmen See, jeden Augenblick zu zerfallen droht. Ringsum sprudelt teils über, teils unter dem Wasserspiegel heißes Wasser hervor, und an unzähligen Stellen strömt heißer Wasserdampf aus, den wir nach Anleitung der Eingebornen zum Kochen gebrauchten. Wo man nur ein wenig in die Erde grub oder die vorhandenen Felsspalten von den Krusten reinigte, die sich darin gebildet hatten, da war der Ofen fertig, auf dem man über ausgebreiteten Farnkräutern die Kartoffeln und das Fleisch in Dampf kochen konnte.

„Der Rotomahana ist einer der kleinsten Seen der Seegegend; den Namen ‚warmer See‘ führt er mit vollem Rechte, die Menge kochend heißen Wassers, welche an den Ufern und auf dem Boden des Sees dem Boden entströmt, ist kolossal, und natürlich wird der See davon ganz erwärmt. Versucht man es, die Temperatur zu bestimmen, so findet man, daß diese an verschiedenen Punkten sehr verschieden ist; wo aufsteigende Gasblasen andeuten, daß an dem Boden des Sees eine warme Quelle entspringt, wird man das Thermometer oft auf 30—40° C. steigen sehen, in der Nähe der Einmündung einiger kalter Bäche findet man nur 15—20° C., als mittlere Temperatur kann man 26° betrachten. Wenn man badet und ein Stück weit durch den See schwimmt, so fühlt man recht gut den fortwährenden Wechsel der Temperatur, muß sich aber dabei wohl in acht nehmen, damit man heißen Quellen nicht allzu nahe kommt.

„Das hauptsächlichste Interesse knüpft sich an das östliche Ufer; da liegen die bedeutendsten Quellen, welchen der See seinen Ruf verdankt, und die zum Großartigsten gehören, was man überhaupt an heißen Quellen kennt. Obenan steht Tetarata (der Tättowierte) am nordöstlichen Ende des Sees; dieser gewaltige kochende Sprudel mit seinen weit in den See hineinreichenden Sinterterrassen ist das wunderbarste unter den Wundern des Rotomahana. Etwa 80 Fuß hoch über dem See, an einem farnbewachsenen Hügelabhange, von welchem an zahlreichen durch Eisenoxyd geröteten Stellen Wasserdämpfe entweichen, liegt in einem kraterförmigen, nach der Seeseite gegen Westen offenen Kessel mit steilen, 30—40 Fuß hohen, rot zersetzten thonigen Wänden das große Hauptbassin des Sprudels. Es ist 80 Fuß lang und 60 Fuß breit und bis an den Rand gefüllt mit vollkommen klarem, durchsichtigem Wasser, das in dem schneeweiß übersinterten Becken wunderschön blau erscheint, türkisblau oder wie das Blau mancher Edelopale. Am Rande fand ich eine Temperatur von 83° C., in der Mitte aber, wo das Wasser fortwährend mehrere Fuß hoch aufwallt, wird es Siedehitze haben. Ungeheure Dampfwolken, die das schöne Blau des Beckens reflektieren, wirbeln auf und verhindern meist den Anblick der ganzen Wasserfläche; aber das Geräusch des Aufwallens und Siedens kann man stets deutlich vernehmen. Akutina, der Eingeborne, der mir als Führer diente, sagte aus, daß bisweilen plötzlich die ganze Wassermasse mit ungeheurer Gewalt ausgeworfen werde, und daß man dann gegen 30 Fuß tief in das leere Bassin blicken könne, welches sich aber sehr schnell wieder fülle. Die Bestätigung dieser Angabe wäre von großem Interesse; wenn dem so ist, so ist die Tetarata-Quelle ein in langen Perioden spielender Geiser, dessen Eruptionen an Großartigkeit vielleicht den berühmten Ausbrüchen des Großen Geisers auf Island gleichkommen. Das Tetarata-Becken ist größer als das Geiserbecken, die ausgeworfene Wassermasse muß daher eine ungeheure sein.

„Das Wasser besitzt in hohem Maße die Eigenschaft, zu versteinern oder, richtiger gesagt, zu übersintern und zu inkrustieren; der Absatz ist, wie bei den isländischen Quellen, Kieselsinter, und der Abfluß des Sprudels hat daraus am Abhange des Hügels ein System von Terrassen gebildet, die, weiß, wie aus Marmor gehauen, einen Anblick gewähren, den keine Beschreibung wiederzugeben vermag (s. Abbildung, S. 388). Es ist, als ob ein über Stufen stürzender Wasserfall plötzlich in Stein verwandelt worden wäre. Man muß diese Treppen hinaufgestiegen sein und die Einzelheiten der Struktur beobachtet haben, um den vollen Eindruck von dem



Terrassen des Tetarata-Beckens auf Neuseeland. Vgl. Text, S. 387.

wunderbaren Baue zu erhalten. Der weit ausgebreitete Fuß reicht nicht weit in den Rotomahana hinein; darauf beginnen die Terassen mit niedern Absätzen, welche seichte Wasserbecken tragen; je weiter nach oben, desto höher werden die Terrassen, 2, 3, manche auch 4—6 Fuß hoch. Sie sind von einer Anzahl halbrunder Stufen oder Becken gebildet, von welchen sich jedoch nicht zwei in ganz gleicher Höhe finden. Jede dieser Stufen hat einen kleinen, erhabenen Rand, von welchem zarte Tropfsteinbildungen auf die tiefere Stufe herabhängen, und eine bald breitere, bald schmälere Plattform, die ein oder mehrere im schönsten Blau schillernde Wasserbecken umschließt. Sie bilden ebenso viele natürliche Badebassins, die der raffinierteste Luxus nicht prächtiger und bequemer hätte herstellen können. Man kann sich die Bassins



Sinterkegel des Beehive-Geisers im Yellowstonepark (nach Photographie). Vgl. Text, S. 392.

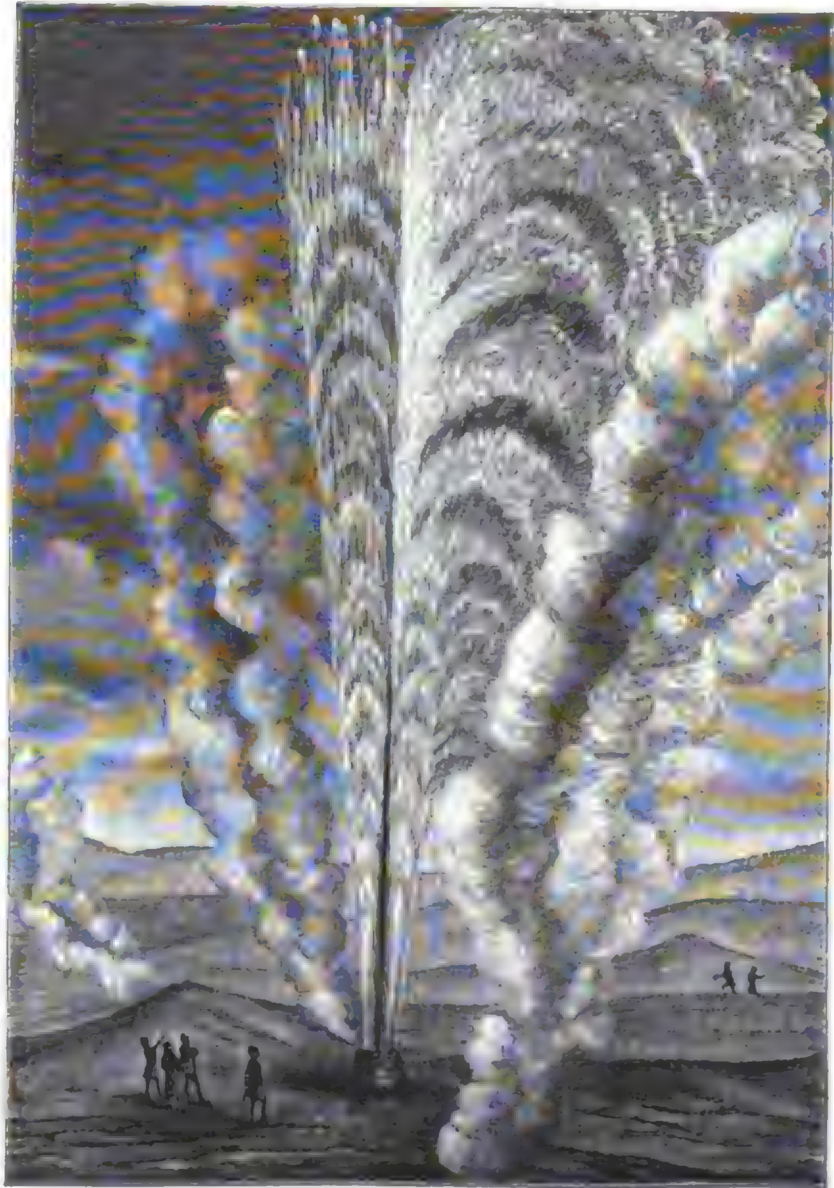
seicht oder tief, groß oder klein auswählen, wie man will, und von jeder beliebigen Temperatur, da diejenigen auf den höhern, dem Hauptbassin näher gelegenen Stufen wärmeres Wasser enthalten als die auf den tiefern Stufen. Einige der Becken sind so groß und tief, daß man bequem darin umherschwimmen kann. Indem man die Stufen hinaufsteigt, muß man in dem lauwarmen Wasser waten, das neben den tiefern Becken auf den Plattformen der Stufen sich ausbreitet, aber selten über die Knöchel reicht. Man darf sich keine dampfenden Kaskaden von Stufe zu Stufe denken; nur ausnahmsweise, bei heftigen Wassereruptionen aus dem Hauptbassin, mag das der Fall sein, für gewöhnlich rieselt wenig Wasser über die Terrassen, und nur der Hauptabfluß an der Südseite bildet einen heißen Bach mit dampfenden Wasserfällen. Hat man die höchste Terrasse erreicht, so befindet man sich auf einer breiten Plattform, in die mehrere 6—7 Fuß tiefe Badebassins eingesenkt sind, deren Wasser eine Temperatur von 30 bis 50° C. hat. In der Mitte dieser Plattform erhebt sich inselartig dicht am Rande des Hauptbeckens ungefähr 12 Fuß hoch eine mit Gebüsch, mit Moosen, Lykopodien und Farnen überwachsene Felsinsel, die man ohne Gefahr betreten



Umgebung des Old Faithfull-Geisers im Yellowstonepark (nach Photographie). Vgl. Text, S. 392.

kann, und von der man in den blauen, kochenden und dampfenden Kessel hinabblickt. Das reine Weiß der Sinterbildungen im Gegensatze zum Blau des Wassers, zum Grün der umgebenden Vegetation und dem intensiven Rot der nackten Erdwände des Wasserkraters, alles das zusammen gibt ein Bild, das einzig in seiner Art ist."

Außerordentlich zahlreich sind die ähnlichen Erscheinungen in derselben Gegend und auf der ganzen Strecke vom Tauposee bis zur Plentybucht. Mag sich auch vielleicht keine der einzelnen Springquellen mit dem Großen Geiser auf Island zu messen im stande sein, so scheint doch das Phänomen der heißen Quellen auf Neuseeland im ganzen reicher entwickelt. Beiden überlegen ist aber die neuerdings berühmt gewordene Geiserregion des Yellowstoneparkes in den Vereinigten Staaten von Nordamerika auf der Grenze zwischen den Territorien Wyoming und Montana. Dieses zauberhafte Gebiet in der Quellregion des Yellowstone, des Madison und des Snake River, das in einer Höhe von 6800 bis 8000 Fuß über dem Meere liegt, war bis vor anderthalb Dezennien der wissenschaftlichen Welt vollständig unbekannt. Wohl mochte einer oder der andre kühne Pionier, der, nach Erzen suchend, in die unzugänglichen Regionen des Westens sich vorgewagt, schon früher einen staunenden Blick auf die mächtigen Wasser- und Dampfsäulen geworfen haben, die hier periodisch dem Boden entsteigen und zu Höhen bis zu 200 Fuß emporgeschleudert werden. Allein erst im Jahre 1869 kamen durch Cook und Folsom nähere Nachrichten an das geologische Aufnahmeamt der Vereinigten Staaten in Washington, und 1871 und in den nächstfolgenden Jahren wurden Expeditionen dorthin abgeschickt, um eine genaue geographische und geologische Durchforschung vorzunehmen, die auch unter der Leitung von Hayden glücklich vollendet wurde. Heute ist die noch vor wenigen Jahren nur für wohlausgerüstete große Expeditionen erreichbare Gegend leicht zugänglich, da die nördliche Pacificbahn unmittelbar an die Geiserregion führt. Dieselbe wurde als Staatsdomäne und Nationalpark erklärt, um sie vor vandalischer Zerstörungswut wie vor gewinnsüchtiger



Der Beehive-Geiser in Thätigkeit (nach Dana). Vgl. Text, S. 392.

Ausbeutung zu schützen. Die Zahl der heißen Quellen und Dampfausbrüche in der näher untersuchten Region wird auf 10,000 geschätzt, und mindestens ebenso viele vermutet man in den noch nicht genau bekannten Gegenden östlich und südöstlich vom Yellowstonesee. Unter den heißen Quellen finden sich viele echte, periodisch ausbrechende Geiser, welche mächtige Absätze von teils kieseligem, teils kalkigem Sinter bilden (s. Abbildung, S. 393). An Großartigkeit der Eruption scheinen einige selbst die gewaltigen Springquellen Islands zu übertreffen, indem einzelne ihre Strahlen zu 200 Fuß emporschleudern sollen. Zu den mächtigsten gehört der Riese (Giant), mit 10 Fuß hohem und 24 Fuß im Durchmesser messendem Auswurfskegel, aus welchem in langen Zwischenräumen Wasserstrahlen von 90 bis 200 Fuß Höhe emporsteigen. Die Riesin, die ihren Gemahl an Macht noch übertrifft, gerät ungefähr alle 22 Stunden auf 20 Minuten in Thätigkeit, wobei die Hauptmasse des Wassers etwa 70 Fuß hoch steigt, während eine Anzahl schwächerer Stellen sich weit höher schwingen, ja bis zu 250 Fuß Höhe erreichen. Der „Bienenstock" (Beehive) hat einen kleinen, sehr regelmäßigen Konus, aus dem ungefähr einmal täglich eine gigantische Wassersäule bis zu 200 Fuß Höhe hervorbricht (s. die Abbildungen, S. 389 und 391), während „der alte Getreue" (Old Faithfull) mit wunderbarer Regelmäßigkeit alle 65 Minuten seinen mächtigen Strahl 130 Fuß hoch schleudert. Und neben ihnen treiben noch zahlreiche andre ihr wildes Spiel und gestalten den Yellowstonepark zu einem Weltwunder, dem sich nichts in dieser Art ebenbürtig zur Seite stellen kann (s. Abbildung, S. 390).

In den meisten Gegenden, welche Geiser und heiße Springquellen enthalten, finden sich auch heiße Schlammquellen, wie sie schon oben aus Neuseeland kurz erwähnt wurden. Diese Erscheinungen unterscheiden sich von den einfachen Kochquellen nur dadurch, daß bei ihnen das heiße, oft unter hohem Dampfdrucke stehende Wasser noch überdies mit schwefliger Säure oder Schwefelwasserstoff beladen ist. Unter der chemischen Einwirkung dieser Gase wie unter der mechanischen von Wasser und Dampf werden leichter zerstörbare Gesteine, wie Thon, vulkanische Tuffe, zersetzt, zu einer breiigen Masse aufgeschlämmt und mit zu Tage gefördert. Als Beispiel mögen die „Namar" Islands gelten. An einigen Stellen, vor allem in der Gegend von Reykjahlid, treten diese eigentümlichen Bildungen auf, die dem Auge ein widriges und häßliches Bild vorführen: „In einer ganz wagerechten, vegetationslosen Ebene von aschgrauer Färbung, die nach Norden von starren Lavaströmen, im Westen von einem Höhenzuge mit Solfataren begrenzt wird, liegen vier größere und mehrere kleinere Schlammkessel, von verdächtigem Erdreiche umgeben, das leicht unter den Füßen des Beobachters zusammenbricht. Ein graublauer, öfter noch blauschwarzer, widriger Schlamm, der für nichts tauglich zu sein scheint, als die Isländer von ekelhaften Hautausschlägen zu heilen, brodelt hier dampfumhüllt in kraterähnlichen Becken und wird von platzenden Blasen, die aus der Tiefe steigen, ununterbrochen in die Luft gespritzt." (Sartorius von Waltershausen.)

Diese Namar führen uns zu einer andern Gruppe von Phänomenen, zu den Salsen und Schlammvulkanen, hinüber, welche an vielen Punkten der Erde, am häufigsten in vulkanischen Regionen, vorkommen und auch durch ihre häufige Vergesellschaftung mit Petroleum von Interesse sind. Weitaus am großartigsten treten derartige Erscheinungen im kaukasischen Gebiete auf, von wo sie durch Abich meisterhaft geschildert sind. Hierher gehören ferner die sogenannten Salinellen von Paterno und einige ähnliche Vorkommnisse aus der Umgebung des Ätna, die Macaluba von Girgenti, die bedeutenden Salsen der weitern Umgebung von Modena, der Höllenmorast nördlich von Kronstadt in Siebenbürgen. Aus fernen, außereuropäischen Gegenden sind namentlich die durch Alexander von Humboldt weit bekannt gewordenen Volcanitos von Turbaco in Neugranada (Südamerika),



Sinterkegel des Castle-Geisers im Yellowstonepark (nach Photographie). Vgl. Text, S. 392.

ferner die Schlammvulkane auf der westindischen Insel Trinidad, auf der an der Küste von Hinterindien (Arracan) gelegenen Insel Cheduba und auf Java zu nennen.

Die Natur der Gase, deren Ausströmen das Aufwallen des Wassers und dessen starke Reibungswirkung auf leicht zerstörbare Gesteine bedingt, ist bei verschiedenen Salsen eine verschiedene. Während aus den Salinellen von Paterno und den benachbarten Schlammquellen sowie aus dem Höllenmoraste nördlich von Kronstadt Kohlensäure strömt, kommen bei der großen Macaluba von Girgenti, bei den imposanten Schlammvulkanen der kaukasischen Region, überhaupt in der Mehrzahl der Fälle Kohlenwasserstoffe zu Tage. Die merkwürdigen Verhältnisse dieser Salsen sind weit weniger allgemein bekannt, als sie es verdienen; wir wollen daher die äußere Erscheinung derselben an einigen Beispielen kennen lernen, wobei uns namentlich die Darstellungen von Abich, Fuchs, Gümbel und Lasaulx leiten sollen.

Die Macaluba von Girgenti, die schon von Schriftstellern des Altertums erwähnt wird, ist wohl der bekannteste Typus der ganzen Kategorie. Im Jahre 1751, als Dolomieu sie besuchte, lagen die Ausbruchspunkte auf einem etwa 50 m hohen, sehr flach ansteigenden Hügel von sehr veränderlicher Gestalt. Auf dem Gipfel des Hügels fanden sich zahlreiche kleine Kegel von höchstens 1 m Höhe, von denen jeder oben eine trichterförmige Vertiefung trug. In denselben steigt alle 2—3 Minuten flüssiger Schlamm bis zum Rande empor und bläht sich zu einer halbkugeligen Blase auf, die unter starkem Geräusche platzt, wobei der Schlamm teils herumgeschleudert wird, teils in die Tiefe des Trichters zurücksinkt. Der ausgeworfene Schlamm bildet einen Thonboden, der beim Austrocknen rissig wird, während bei Regenwetter die Thonmassen erweichen und das Ganze sich in einen großen, mit halbflüssigem Schlamme erfüllten Tümpel verwandelt. Etwas anders fand Friedrich Hofmann 50 Jahre später die Macaluba: „In einer wenig erhöhten Thonebene sind auf einer Fläche von etwa 150 Schritt Länge und 50 Schritt Breite etwa 30 zwischen 2 und 3 Fuß hohe Schlammkegel aufgeworfen; jeder trägt auf der Spitze eine etwa fußgroße, trichterförmige Vertiefung, welche mit Salzwasser erfüllt war, und stets ward die Oberfläche dieser kleinen Wasseransammlungen von austretenden Gasblasen in brodelnder Bewegung erhalten, wobei sich nicht selten an den Abhängen dieser Kegel über die Ränder der kleinen Krater kleine Ströme der mit Salzwasser getränkten Thonmasse ergossen, welche das Bild kleiner Lavaströmen gleichsam spielend wiederholten."

Über die Salinellen von Paterno schreibt Lasaulx: „Die Salinellen sind über einer flachen Terrainwölbung von einigen Morgen Umfang verbreitet und führen einen hellen Schlamm empor, der rings den Boden mit einer zum Teile noch so weichen Kruste bedeckt, daß man stellenweise tief in dieselbe einsinkt. Als ich am 7. Oktober 1878 die Salinellen sah, befand sich auf dem flachen Hügel eine Zahl von 23 kreisrunden Öffnungen, deren größte 1—2 Fuß Durchmesser hatte, meist mit grauem, schlammigem Wasser gefüllt, welches durch entweichende Gasblasen heftig aufbrodelte und dann den Schlamm über den Rand zum Ausfließen brachte. Die Temperatur des Wassers schwankte zwischen 20 und 26° C. Die kleinen Kraterbecken sind aus einem graublauen thonigen Kalksinter gebildet, der in vielen feinen Lagen übereinander liegt. Die nicht mit Wasser gefüllten Öffnungen ließen das Gas nicht unmittelbar wahrnehmen, wenn man aber die Hand über eine solche hielt, fühlte man deutlich den gegen dieselbe strömenden warmen Luftzug. Die Öffnungen wechseln sehr oft ihre Stelle, die einen verstopfen sich, und andre brechen auf. Die Thätigkeit war keineswegs eine heftige, das Aufwallen und Überfließen erfolgte sehr ruhig, nur begleitet von dem gurgelnden Geräusche der entweichenden Gasblasen. Doch hatte vor kurzer Zeit aus einer auf dem höchsten Teile des Terrains ein heftiger Schlammauswurf stattgefunden.

„Die letzte größere Eruption der Salinellen fällt in das Jahr 1866; am 15. Januar ereignete sich ein Erdbeben, und am 22. Januar war der Ausbruch der Salinellen in vollem Gange; als Professor Silvestri an Ort und Stelle ankam, war das Terrain in einen Schlammteich von etwa 800 qm Oberfläche verwandelt, zahlreiche Krater, deren Durchmesser bis zu 2 m betrug, hatten sich gebildet. Aus einzelnen derselben stieg eine dicke Säule warmen Schlammes empor, schäumend durch die große Menge von Gas, welches mit eigentümlichem Geräusche durch den Schlamm hindurchdrang. Als Silvestri an einer Stelle des Terrains im Boden eine Grube auswerfen ließ, begann dort sofort schlammiges Wasser mit Gewalt emporzudringen, und zwei Tage später waren dort zwei vollständige Krater entstanden, welche die andern ihnen zunächst liegenden zur Unthätigkeit gebracht hatten. Es geht daraus hervor, daß die Verteilung der Ausbruchstellen im ganzen Becken größtenteils zufällig und nur von der Beschaffenheit und Durchdringbarkeit des Bodens abhängig ist.

„Sehr bald nach meinem Besuche bei den Salinellen von Paterno im Oktober 1878 traten dieselben neuerdings in gesteigerte Thätigkeit, die wiederum durch eine Reihe von Erderschütterungen eingeleitet wurde. Im Gefolge dieser Erschütterungen begann im Monate Dezember der Ausbruch der Schlammvulkane und dauerte in sehr wechselnder, im allgemeinen aber abnehmender Stärke bis in den Januar hinein fort. Nach Silvestri ereigneten sich die ersten Erscheinungen heftigen Aufsprudelns und der Bildung zahlreicher neuer und größerer Kraterbecken am 19. Dezember, aber die Energie der ersten Tage schwächte sich bald ab. Aber sie erwachte wieder mit vollem Ungestüme, nachdem am 24. Dezember um 9 Uhr 20 Minuten abends ein heftiges Erdbeben während 8 Sekunden den ganzen östlichen Teil Siziliens bewegt hatte. Nach diesem Stoße blieb die Schlammeruption etwa zwei Tage im Stadium heftiger Erregung; zahlreiche Krater warfen über das ganze Terrain hin bis zu 2 und 3 m hohe Schlammfontänen empor; dann nahm die Thätigkeit wieder ab, Ende Januar waren nur noch zehn Öffnungen vorhanden, die nur ein schwaches Überströmen zeigten, wie wir es am 7. Oktober gesehen hatten; sie arbeiteten vollkommen ruhig, ohne Erschütterungen des Bodens, die man während der eigentlichen Eruption gefühlt hatte, und ohne Geräusch. Das Wasser, das sie aussandten, schwankte in seiner Temperatur an verschiedenen Quellen zwischen 13 und 37°, während es zur Zeit der Eruption an einzelnen Stellen 46° C. gezeigt hatte. Die von Schlamm überflutete Fläche würde sich stark ausgebreitet haben, wenn man nicht den obern Teil durch rasch errichtete Mauern eingedämmt hätte, da er benachbarte Felder und Orangengärten zu erreichen drohte."

Unter den oberitalienischen Schlammvulkanen ist der bedeutendste die Salse von Sassuolo bei Modena, über welche Gümbel nach Mitteilungen von Stöhr folgendermaßen berichtet: „Die Salse von Sassuolo ist der Typus für jene Klasse von Schlammvulkanen, bei welchen nicht einfach Schlammmassen und Gase hervorgestoßen, sondern auch Gesteinsfragmente in großer Menge zu Tage gefördert werden. Etwas über 2 km südlich von Sassuolo am Monte Gibbio gelegen, besteht diese Salse in den meist lang andauernden Ruheperioden aus wenigen unscheinbaren, mit Salzwasser gefüllten Tümpeln, aus denen sich Blasen brennbaren Gases entwickeln. Im stärksten Kontraste gegen diese anscheinend geringfügige Thätigkeit tritt dagegen die Salse bei den zeitweise gewaltsamen Ausbrüchen mit den großartigsten Erscheinungen hervor. Schon Plinius erwähnt den großartigen Ausbruch vom Jahre 90 v. Chr.; bei dem letzten vom Jahre 1835 floß der Schlamm über 1 km weit und füllte ein kleines Thälchen aus, die ganze Auswurfsmasse wurde auf 1½ Million Kubikmeter berechnet. Die Schlammströme haben große Ähnlichkeit mit Erdrutschen, indem so zahlreiche scharfkantige Gesteinstrümmer in der Schlammmasse eingebettet sind, daß häufig nur die Fragmente dem Auge sichtbar sind; sie bestehen aus Flysch und Macigno, denen glaukonitischer Sandstein, Kalkspatsplitter ꝛc. beigemengt sind."

Im Jahre 1875 wurde dieser Ort von Th. Fuchs besucht; er schreibt: „Die Salse befindet sich nach meiner Schätzung etwa 600 Fuß über dem Straßenniveau auf den ersten hinter Sassuolo gelegenen Vorhügeln des Gebirges und besteht im wesentlichen aus einem wohlerhaltenen Krater und einem ansehnlichen Schlammstrome, welcher, die westliche Wand des Kraters niederbrechend, in mehreren Absätzen den Fuß des Hügels erreicht und sich, breit auseinander fließend, wie ein unförmlicher Schuttkegel ausbreitet. Der Krater, welcher den Eindruck eines künstlich aufgeworfenen Walles macht, hat einen Durchmesser von etwa 70 Fuß, die Tiefe des Kraters im Innern ist etwa 36 Fuß; der ebene Boden des Kraters besteht aus einem gräulichgelben, mit Flyschtrümmern erfüllten Lehme und zeigt zwei kleine Wassertümpel, aus welchen fortwährend Gasblasen aufsteigen.

„Die westliche Seite des Kraters ist, wie erwähnt, von dem Schlammstrome durchbrochen, und man sieht deutlich, wie die auseinander geschobenen Teile desselben den Strom zu beiden Seiten als zwei niedrige Wälle begleiten. Der Schlammstrom selbst besteht aus einer bläulichgrauen Grundmasse von thonig-mergeliger Beschaffenheit, die ganz mit Trümmern und größern Blöcken von Flyschgestein beladen ist; die Blöcke erreichen eine Größe von 2 Fuß und sind ebenso wie die kleinern Bruchstücke vollkommen eckig, ohne Spur von Abrollung; sie liegen bisweilen so dicht, daß sie die Grundmasse fast verdrängen, an andern Stellen tritt diese wieder mehr in den Vordergrund. Die Struktur des Stromes läßt sich am besten in den vom Regenwasser ausgefurchten Einschnitten erkennen, die bis zu 36 Fuß Tiefe eindringen; man sieht in denselben die blaugraue, schmierige Grundmasse in vollkommen regelloser Weise von Trümmern und Blöcken erfüllt, ohne eine Spur von Schichtung, das Ganze gleicht vielmehr einer festgestampften Masse, in der man hier und da Spuren einer stattgehabten rollenden Bewegung zu erkennen glaubt.“

Weitaus am großartigsten treten diese Phänomene in der kaukasischen Region auf, am Westende dieses Gebirges auf den Halbinseln Kertsch und Taman und noch ungleich gewaltiger an dessen östlichem Ende am Rande des Kaspischen Meeres, in der Nähe von Baku, auf der Halbinsel Apscheron und in deren Umgebung, über welche wir durch die klassischen Untersuchungen von Abich Aufschluß erhalten haben. In erster Linie ist diese letztere Region durch ihren unermeßlichen Reichtum an Petroleum ausgezeichnet, welches in der Umgebung von Baku teils auf festem Lande, teils unter dem Wasserspiegel des Kaspischen Meeres hervorquillt. Von der unglaublichen Menge dieses wertvollen Stoffes, der hier in der Tiefe der Erde verborgen ist, hat man erst in neuester Zeit durch den überraschenden Erfolg der dort vorgenommenen Tiefbohrungen eine Vorstellung erhalten. Im Jahre 1878 verarbeiteten 140 Fabriken in Baku die dortige Naphthaproduktion von 8 Millionen Zentner, die aus einem nur etwa 4 qkm großen Areale gewonnen wurden. Eine im März 1879 erbohrte Springquelle brachte so enorme Quantitäten zu Tage, daß im Beginne ihres Fließens ein 4000 Zentner fassendes Reservoir in Zeit einer Stunde gefüllt war. Auch auf der Ostseite des Kaspischen Meeres gegenüber Baku, auf der Insel Tscheleken, sind reiche Petroleumlagerstätten entdeckt worden; ein Bohrloch lieferte in 24 Stunden 3000—4000 Zentner. Aber all diese Vorkommnisse scheinen in den Hintergrund zu treten gegen die fabelhaften Erdölmengen, die man in neuester Zeit noch weiter im Osten in der Turkmenensteppe entdeckt hat, allerdings in einer so wüsten, wasserlosen und von allem Verkehre abgeschlossenen Gegend, daß eine Verwertung dieser Schätze vorläufig noch nicht möglich ist.

In Verbindung mit dem Petroleum treten in der Umgebung von Baku mächtige Ausströmungen gasförmiger Kohlenwasserstoffe auf, die, entzündet, in riesigen Flammensäulen zum Himmel emporlodern. Es sind dies die altberühmten, heiligen Erdfeuer, welche „allerdings jetzt teilweise im Dienste der Industrie so reguliert sind, daß sie viel von ihrem ehemaligen poetischen Zauber eingebüßt haben“.

In diesem Gebiete finden sich auch gewaltige Schlammvulkane. Wenn die mächtigen Ströme von Kohlenwasserstoffgas auf ihrem Wege an die Oberfläche mit einer Wasserader zusammentreffen, so werden die teilweise sehr dazu geeigneten Ablagerungen des dortigen Tertiärgebirges in großem Maßstabe zerstört und aufgeschlämmt und in breiigen Massen ausgeworfen. Für gewöhnlich sind allerdings nur einzelne Punkte in schwacher Thätigkeit, in langen Pausen aber erfolgen Schlammeruptionen, in der Regel in Verbindung mit sich entzündenden Gasausbrüchen, die alle ähnlichen Erscheinungen in andern Gegenden weit hinter sich lassen und an Masse des zu Tage geförderten Materiales mit bedeutenden Ausbrüchen wirklicher Vulkane wetteifern. Wiederholt haben sich auf diese Weise neue Inseln im Kaspischen Meere durch Schlammaufschüttung gebildet, zuletzt im Frühjahre 1860 die Insel Kumani. Die Schlammvulkane jener Gegend treten in einer Anzahl paralleler und mit dem Gebirgsbaue der Gegend in engem Zusammenhange stehender Linien auf, und mit ihrem Erscheinen gehen erhebliche Terrainbewegungen Hand in Hand, indem bedeutende Massen losen Gesteines von höher gelegenen Partien abgleiten und durch ihr Gewicht in tiefer liegenden Regionen lockeres Material aufstauen und aufschieben. Besonders intensiv sind diese Bewegungen, seitdem Bohrungen auf Petroleum in großem Maßstabe ausgeführt sind, durch welche der bisherige Gleichgewichtszustand gestört wird.


Der Wasser- und Gas-Geiser bei Kane in Pennsylvanien (nach Dana). Vgl. Text, S. 398.

Es ist hier nicht der Platz, die tektonischen Beziehungen dieser Bildungen näher zu besprechen; nur als ein Beispiel mag eine der bedeutendsten Erscheinungen jenes Gebietes, der Schlammvulkan Arsena, genannt werden. Sein Krater hat nach Abich etwa zwei Drittel der Größe des Vesuvkraters, er ist länglich-elliptisch mit niedrigen, steil abstürzenden Wänden und auf der nordwestlichen Seite des flachen Berggipfels, dessen Höhe 1078 Fuß über dem Meere beträgt, eingesenkt. Seine 400—500 Fuß breite Ausmündung führt zu einer auf tieferer Stufe gelegenen Kraterabteilung hinab, welche große Wasseransammlungen umschließt; diese enthalten viel schwefelsaures Natron gelöst, und auch der Boden ringsumher ist mit dicken Krusten dieses Salzes bedeckt. Die Wasserbecken werden durch ziemlich warme Quellen gespeist, welche durch fortwährendes Ausströmen von brennbarem Gase in sprudelnder Bewegung erhalten werden. Ströme von Schlammlava, den Dimensionen

dieses interessanten Doppelkraters entsprechend, nehmen wie in einem breiten Kanale auf der sanft gewölbten Scheitelfläche des mehrere Kilometer langen Hochrückens nach Nordwesten ihren Weg.

Für die Beurteilung der Natur und Bedeutung der Schlammvulkane ist die Untersuchung der von ihnen ausströmenden Produkte entscheidend. Es wurde schon betont, daß die breiige Masse, die aus ihren Öffnungen quillt, nichts andres ist als das Material leicht zerstörbarer Schichten, welche von sehr stark mit Gas beladenen Quellen durchzogen, ausgewaschen und ausgeschlämmt wurden. Den Beweis hierfür liefert der Umstand, daß sich unter dem Mikroskope keine Spur vulkanischer Elemente, von Asche, Bimsstein 2c., in dem Materiale der Schlammvulkane zeigt, wohl aber in vielen Fällen die Schälchen mikroskopisch kleiner Meerestiere, von Foraminiferen und Radiolarien, wie sie massenhaft in den umgebenden Tertiärschichten vorkommen. „Die ausgestoßene Schlammmasse ist nichts andres als erweichtes, aus der unmittelbaren Umgebung stammendes oder aus nicht beträchtlicher Tiefe emporgeschobenes thoniges oder thonig-sandiges Schichtgestein, welches oft noch organische Überreste enthält.“ (Gümbel.)

Mannigfache Bedingungen müssen zusammentreffen, um das Zustandekommen eines Schlammvulkanes zu ermöglichen; ein Gasstrom, der aus einiger Tiefe empordringt, muß auf seinem Wege eine Quellader finden, und beide vereint müssen sich dann durch ein sehr leicht zerstörbares Terrain bewegen. Trifft das Gas auf keinen aufsteigenden Wasserstrang, so erhalten wir eine trockne Exhalation, wie die Erdfeuer von Baku oder der aus einem Serpentingebiete aufsteigende Kohlenwasserstoffstrom der Chimära in Lykien. Vereinigen sich Gas und Wasser in geeigneter Weise, ohne auf thonige Schichten zu stoßen, so erhalten wir einfach eine gasreiche Quelle. Wenn z. B. der Karlsbader Sprudel, statt aus festem Granite, aus einem jungtertiären Thone hervorträte, so würde er wahrscheinlich eine durch Kohlensäure getriebene Salse sein, wie die Salinelle von Paterno am Ätna. Sehr deutlich tritt das bei manchen Vorkommnissen der großen pennsylvanischen Petroleumregion in Nordamerika hervor. Auch hier steigen, wie in den kaukasischen Erdöldistrikten, oft große Mengen von Kohlenwasserstoffgas empor; sie gesellen sich oft zu Quellen, aber es fehlt an weichen Gesteinen, denen sie Schlamm entnehmen könnten. Ein solches Beispiel bietet der sogenannte Wasser- und Gas-Geiser bei der Stadt Kane in Pennsylvanien (s. Abbildung, S. 397). Eine Bohrung wurde hier zu einer Tiefe von 2000 Fuß niedergetrieben, und aus dem Bohrloche springt in Zwischenräumen von etwa 13 Minuten (im Jahre 1879) ein 100—150 Fuß hoher Strahl von Wasser und Gas empor, wobei letzteres sich sehr oft entzündet, aufflammt, wieder erlischt, um im nächsten Augenblicke wieder in Brand zu geraten.

Chemische Wirkung des Wassers.

Jede Quelle bringt eine bald größere, bald kleinere Menge mineralischer Stoffe gelöst an die Oberfläche. Dieses Material ist dem anstehenden Gesteine entnommen und wird in der einen oder andern Form früher oder später wieder zur Ablagerung kommen. Es entstehen demnach auf diesem Wege Veränderungen der Erdfeste, deren Prüfung sich als ein wichtiger Gegenstand geologischer Untersuchung aufdrängt.

Die zerstörende Wirkung des Wassers ist von zweierlei Art: dasselbe tritt einerseits als chemisches Lösungsmittel auf, anderseits übt es eine rein mechanische Aktion, wobei es allerdings noch durch eine ganze Reihe andrer wichtiger Agenzien unterstützt wird. Eine Reihe gesteinsbildender Mineralien löst sich in reinem Wasser sehr leicht auf. Dies gilt insbesondere vom Steinsalze und den verschiedenen ähnlich konstituierten Salzen. Ebenso

wird Gips, wenn auch nicht so leicht, in großer Menge vom Wasser aufgelöst. Wo daher diese Materialien in großen Massen vorhanden und der Berührung zirkulierender Gewässer stark ausgesetzt sind, erreicht die Wegführung derselben einen sehr erheblichen Betrag, mächtige Hohlräume, „Gipsschlotten", werden unterirdisch ausgelaugt und lassen die höher gelegenen Gesteine hinabbrechen. So kommt es, daß gips- und salzführendes Gebirge sehr oft einen durch solche Vorgänge sehr stark gestörten und unregelmäßigen Bau zeigt. Dabei wirkt aber noch ein andrer Faktor wesentlich mit. Wir haben in einem frühern Abschnitte gesehen, daß der schwefelsaure Kalk im Mineralreiche in zwei verschiedenen Ausbildungsweisen auftritt: entweder wasserfrei als Anhydrit oder mit einem Wassergehalt von 21 Prozent als Gips. Der Anhydrit hat die Eigentümlichkeit, in Berührung mit Wasser solches aufzunehmen und sich in Gips umzuwandeln, wobei er eine sehr starke Aufblähung erleidet. Die meisten größern Anhäufungen von schwefelsaurem Kalke in der Tiefe scheinen aus Anhydrit zu bestehen, und so kommt es, daß beim Zutritte von Wasser zunächst ein starkes Anschwellen der Masse und dann ein Substanzverlust durch Wegführung stattfindet. Diese verwickelten Vorgänge machen es verständlich, daß die Lagerstätten dieser Vorkommnisse auch ohne Mitwirkung der gebirgsbildenden Kräfte heftigen Störungen unterworfen sind, die unter Umständen mit jenen Lagerungsveränderungen verwechselt werden können, welche durch Oberflächenfaltung der Erdrinde hervorgebracht werden.

Weit geringer sind die Einwirkungen des reinen Wassers auf den Kalkstein, wenn es nicht Kohlensäure und in dieser ein Lösungsmittel für den Kalkstein absorbiert enthält. Zwar vermag das Wasser, auch wenn es Kohlensäure führt, weit weniger Kalk als Gips oder Steinsalz aufzunehmen, aber bei der sehr viel größern Verbreitung des Kalkes in der Natur ist dennoch die Umgestaltung, welche durch Auflösung des Kalkes vor sich geht, eine sehr viel bedeutendere und wichtigere, wie denn auch in der großen Mehrzahl der Flüsse kohlensaurer Kalk unter den gelösten Substanzen die erste Rolle spielt.

Aber nicht nur auf den Kalkstein, auch auf eine sehr große Menge andrer Gesteine und Mineralien wirkt das mit Kohlensäure beladene Wasser lösend und zersetzend ein. Da Kieselsäureverbindungen, sogenannte Silikate, weitaus die größte Rolle in der Natur spielen, so ist das Verhalten diesen gegenüber vor allem von Bedeutung; namentlich die Kieselsäureverbindungen von Kalk, Eisenoxydul, Kali, Natron werden angegriffen und die Karbonate (Kohlensäureverbindungen) dieser letztern Körper weggeführt. War in einem Minerale nur einer der eben genannten löslichen Stoffe oder waren mehrere von diesen an Kieselsäure gebunden, so wird das Endergebnis des Vorganges sein, daß die auslaugbaren Bestandteile gänzlich fortgeführt werden. Zwar ist auch die ausgeschiedene Kieselsäure einigermaßen in Wasser löslich, namentlich wenn dieses Kali oder Natron enthält; allein sehr häufig kann dieser Prozeß mit jenem der Auslaugung von Karbonaten nicht Schritt halten, und dann bleibt die Kieselsäure allein zurück.

Weit häufiger aber als diese Fälle ist das Verhältnis, daß außer den bisher genannten Stoffen auch solche in den Silikaten vorhanden sind, welche aus dieser Verbindung durch kohlensäurehaltige Wasser nicht oder nur sehr schwer und in verschwindender Menge abgeschieden werden. Es sind das unter den häufig in der Natur auftretenden Stoffen namentlich Thonerde und Magnesia. In den Silikaten werden die andern Substanzen unter gleichzeitiger Aufnahme von Wasser aufgelöst, und es bleiben als die Endprodukte derartiger Zersetzung wasserhaltige Thonerdesilikate, wie Thon, Porzellanerde, oder Magnesiasilikate, wie Serpentin, Talk und Speckstein, zurück. Betrachten wir z. B. eins der häufigsten felsbildenden Mineralien, den Orthoklas oder Kalifeldspat, so finden wir unter Annahme der einfachsten Verhältnisse die folgende ursprüngliche Zusammensetzung des unzersetzten Körpers: Kieselsäure 64,6 Prozent, Thonerde 18,5 Prozent, Kali 16,9 Prozent.

Bei ganz vollständiger Zersetzung gehen davon verloren 43 Prozent Kieselsäure und 16,9 Prozent Kali, während die Thonerde unberührt bleibt und 6,5 Prozent Wasser aufgenommen werden, so daß als Endprodukt der Zersetzung von 100 Teilen Orthoklas 46,6 Teile Porzellanerde von folgender Zusammensetzung zurückbleiben:

Kieselsäure 21,6, Thonerde 18,5, Wasser 6,5, oder in Prozenten:
Kieselsäure 46,4, Thonerde 39,7, Wasser 13,9.

Auf diese Weise werden ungeheure Mengen feldspathaltiger Gesteine zersetzt und der Rückstand, die Porzellanerde oder das „Kaolin", häufig in großen Mengen zusammengeschwemmt. So bilden sich die Lager jenes Stoffes, welche das Material zur Porzellanbereitung liefern. Geht die Zersetzung nicht vollständig vor sich, und ist das Endprodukt ein unreines, so entsteht der gewöhnliche Thon.

Es würde zu weit führen, in die sehr mannigfaltigen Einzelheiten der Einwirkung des Wassers auf Mineralien und Gesteine einzugehen. Die häufigsten und verbreitetsten unter ihnen liefern thonige Zersetzungsprodukte. Außerdem bleibt der Quarz, ein überaus wichtiger Gemengteil zahlreicher Felsarten, fast unberührt durch die chemische Einwirkung; er liefert nach Zerstörung der übrigen Gemengteile Sand, und so bilden in letzter Linie Thon und Sand die Hauptprodukte der lösenden Thätigkeit des Wassers, es resultieren diese beiden Körper, welche in der Zusammensetzung der meisten Schichtsysteme eine so große Rolle spielen.

Ein Teil der vom Wasser gelösten Stoffe macht dessen Wanderungen bis zum Ozeane mit und vermehrt seinen Salzgehalt; aber dies thut nicht die gesamte Menge der aufgelösten Substanzen, sondern ein ansehnlicher Teil derselben wird unterwegs während der Zirkulation des Wassers im Gesteine wieder in fester Form ausgeschieden. Bei diesen Vorgängen ist es von Wichtigkeit, daß die verschiedenen Substanzen sich bei der Ausscheidung infolge von Molekularanziehung mit Vorliebe um oder an schon vorhandene feste Partien von derselben chemischen Zusammensetzung lagern. Wenn man z. B. eine gesättigte Salzlösung allmählicher Verdunstung überläßt und in dieselbe einen Kristall desselben Salzes legt oder, besser, an einem Faden in dieselbe hineinhängt, so setzen sich die sich ausscheidenden Partien des Salzes vorzugsweise an diesem Kristalle an. Ebenso verhält es sich in den Gesteinen, und es erfolgt daher sehr häufig auf diesem Wege eine Konzentrierung einzelner Bestandteile, indem die vom Wasser aufgelösten Mengen derselben um gewisse Mittelpunkte sich wieder abscheiden. Die Form, welche diese Ansammlungen einer Substanz annehmen, ist sehr wechselvoll und von mannigfachen Bedingungen abhängig; Gips, Schwefelkies, bisweilen auch Kalkspat und Quarz liegen oft als lose, vollständig ausgebildete Kristalle in Thon, Mergel oder Sandstein; häufiger aber findet man mehr oder weniger kugelige oder zur Kugelgestalt hinneigende „Konkretionen", die aus Kalk, Gips, Hornstein, Jaspis, Schwefelkies, Thoneisenstein, Brauneisenstein, kurz aus sehr verschiedenen Mineralien bestehen können. Bisweilen sind dieselben im Innern hohl, wenn die ursprünglich aufgequollene Masse einem Schrumpfungs- oder Austrocknungsprozesse ausgesetzt war; es kann sogar innerhalb einer solchen Hohlkugel sich wieder ein fester Kern, eine kleinere Kugel befinden, die man dann beim Schütteln im Innern klappern hört. Solche „Klappersteine" haben in früherer Zeit großes Interesse erregt, ebenso wie gewisse auffällig geformte Konkretionen, die man an manchen Punkten findet, und die unter dem Namen von Laukasteinen, Imatrasteinen, Brillensteinen, Marlekor, Näkkebröd, Kunkurs in der ältern Litteratur eine große Rolle spielen. Wichtig sind sie jedoch nur insofern, als das Auftreten einzelner unter ihnen für gewisse geologische Horizonte oder Bildungen sehr charakteristisch ist. Dies ist z. B. mit jenen seltsam geformten Kalkknollen der Fall, welche in dem in neuerer Zeit so vielbesprochenen Löß vorkommen und in vielen Gegenden als Lößkindchen oder Lößmännchen allgemein bekannt sind.

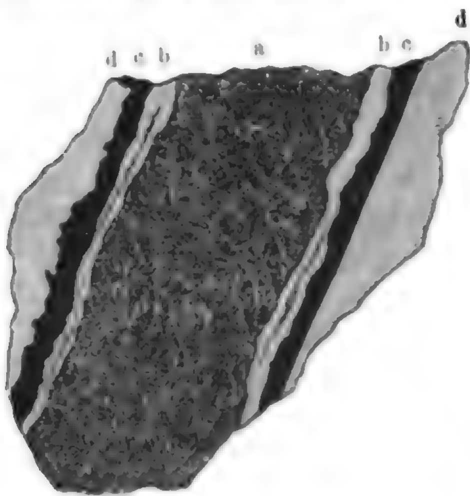
Andre Verhältnisse finden sich da, wo in einem Gesteine Hohlräume vorhanden sind, welche mit auskristallisierenden oder amorph aus der wässerigen Lösung sich ausscheidenden Mineralien ganz oder zum Teil ausgefüllt werden. Solche Höhlungen, deren Wände von allen Seiten mit Kristallen bekleidet sind, die mit ihren wohl ausgebildeten Enden in das nicht ganz ausgefüllte Innere hineinragen, werden als Drusen bezeichnet. Als eine spezielle Art dieser Hohlräume sind die sogenannten Mandeln zu nennen, welche sich in Gesteinen vulkanischen Ursprunges finden. Dieselben sind in der Regel durch Dampfblasen gebildet, die sich in der geschmolzenen Masse beim Erstarren gebildet haben und ihr einen schlackigen Charakter verleihen. Die Ausfüllung der Hohlräume in diesen „Mandelsteinen" ist sehr verschiedener Natur; am verbreitetsten sind wasserhaltige Silikate, die sogenannten Zeolithe, ferner Kalkspat und verschiedene andre Mineralien. Besonders hervorzuheben sind die oft prachtvoll gebänderten oder marmorierten Mandeln von Achat, einem Aggregate von kristallisierter und amorpher Kieselsäure.

Wichtiger sind jene Ausscheidungen, welche auf den sogenannten Gangspalten stattfinden. Jene Spalten, an welchen die großen Massenverschiebungen der Erdrinde vor sich gehen, sind zwar in vielen Fällen so beschaffen, daß die beiden Wände der Kluft unmittelbar aneinander anliegen und sich berühren; sehr oft aber bildet sich eine klaffende Spalte, die dann früher oder später in einer oder der andern Weise ausgefüllt wird. Entweder geschieht dies von unten durch aufsteigende Massen von geschmolzenen Eruptivgesteinen, wobei sich dann Gesteinsgänge bilden, wie sie noch heute an den Vulkanen fast bei jedem Ausbruche neu entstehen. In andern, allerdings weit seltenern Fällen findet eine Ausfüllung von obenher durch eingeschwemmte feste Teile, Thon, Sand oder Gerölle, statt, denen oft auch Holzstücke, Zähne und Knochen von Tieren oder Schneckengehäuse beigemengt sind. Eine dritte Art der Ausfüllung ist diejenige, welche uns hier beschäftigen muß, nämlich durch Ausscheidung und Auskristallisierung aus wässeriger Lösung. Als eine vierte Art der Gangbildung kann endlich noch angeführt werden, daß dampfförmige Produkte der Vulkane sich an den Wänden von Spalten verdichten. Wir wissen, daß z. B. im Krater des Vesuvs oft Verbindungen von Kupfer und Blei auf diese Weise „sublimieren", und derselbe Vorgang kann natürlich auch an den Wänden der Klüfte stattfinden. In der That wird von einer Reihe von Geologen ein großer Teil der Metallgänge, namentlich der Gold-, Silber- und Bleigänge, auf diese Entstehungsursache zurückgeführt. Wir können jedoch hier nicht auf diese Frage eingehen, die uns später bei der Besprechung der nutzbaren Mineralien beschäftigen wird.

Während bei den von unten durch eruptive Thätigkeit gebildeten Gangmassen, bei den Gesteinsgängen, die Ausfüllung aus den verschiedensten Massengesteinen, aus Granit, Porphyr, Basalt, Trachyt, und wie sie alle heißen, bis herauf zu den modernen Laven besteht, verhalten sich die Mineralgänge in ganz andrer Weise. Hier sind Quarz, Kalkspat, Schwerspat, Flußspat die häufigsten Vorkommnisse, zu denen sich, abgesehen von einer Menge minder wichtiger Mineralien, noch als ein sehr häufig wiederkehrender Bestandteil die verschiedensten Erze gesellen. Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Eisen und andre treten bald gediegen (rein), bald in den verschiedensten chemischen Verbindungen auf, und ein sehr großer Teil alles dessen, was von diesen Metallen zu Tage gefördert wird, stammt aus Gängen. Bisweilen besteht der ganze Gang aus einer gleichmäßigen Mineralmasse, aus Quarz, Kalkspat, Schwerspat ꝛc., in andern Fällen sind verschiedenartige Mineralien regellos miteinander gemengt, während eine dritte Art des Vorkommens die ist, daß dem oder den herrschenden Gangmineralien andre in geringerer Menge eingesprengt sind.

Ein andres Bild bieten die symmetrisch angeordneten Gänge, welche in der Weise ausgefüllt werden, daß die einzelnen Mineralien oder Mineralkombinationen einander entsprechende Lagen längs der beiden Seitenwänden der Gangspalte bilden. So ist z. B.

der „Spitaler Gang“ in der Scheuchenstuelzeche bei Schemnitz in Ungarn nach Lipold folgendermaßen zusammengesetzt: In der Mitte der Haupterzgang, eine 2—3 Fuß mächtige Masse von Eisenkies, Bleiglanz, Zinkblende und Kupferkies, mit vielen Adern und Nestern von weißem Quarze durchzogen; zu beiden Seiten war diese Masse eingesäumt von einige Zoll mächtigen Lagen weißen Quarzes, die dann ihrerseits wieder von etwas dickern Lagen von derbem Erze eingefaßt waren. Die letztern stießen unmittelbar an den Trachyt, das Gestein, in welchem der Gang „aufsetzt“, an. Diese Reihenfolge gibt uns in vollster Klarheit die Geschichte des Ganges: nach Bildung der Spalte bildeten sich zuerst an deren Wänden die beiden Lagen von derbem Erze, dann hörte die Zufuhr von Metallen zeitweilig auf, Kieselsäurelösung drang ein, und aus dieser schieden sich die beiden Lagen von weißem Quarze aus, während die in der Mitte gelegene Hauptgangmasse zuletzt entstand und den in der Mitte vorhandenen hohlen Raum ausfüllte (s. nebenstehende Abbildung).



Querschnitt des Spitaler Ganges bei Schemnitz (nach Lipold).
a Eisenkies, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies mit Quarz — bb weißer Quarz — cc derbes Erz — dd Muttergestein des Ganges (Trachyt).

Diese Verhältnisse, auf welche Werner zuerst aufmerksam gemacht hat, sind oft viel komplizierter, und gerade das Freiberger Bergrevier bietet ausgezeichnete Beispiele eines weit reichern Wechsels. Werner schildert selbst den Gregoriusgang, in welchem zu beiden Seiten zunächst an dem Muttergesteine Lagen von weißem Quarze liegen, worauf beiderseits gegen innen Bleiglanz, Eisenspat, nochmals Bleiglanz, Grausilbererz, Rotgülbigerz und Silberglanz folgen, während die Mitte von Kalkspat, natürlich der jüngsten Bildung des ganzen Ganges, eingenommen wird.

Nicht immer findet jedoch solche Symmetrie statt, oft sind die Lagen an beiden Wänden nicht gleich entwickelt, oder es tritt der Fall ein, daß die normale symmetrische Reihenfolge zerstört und unterbrochen ist und sich Mineralbildungen einstellen, die unter sich wieder symmetrisch liegen. Diese letztern Vorkommnisse zeigen uns dann eine verwickelte Geschichte des Ganges: zuerst bildete sich eine Spalte und wurde ganz normal von Mineral- und Erzausscheidungen ausgefüllt; nachdem dieser Prozeß vollendet, die Kluft ausgefüllt und vernarbt war, wiederholten sich dieselben tektonischen Erscheinungen, welche deren erste Entstehung bedingt hatten, die alte Spalte riß wieder auf wie eine unvollkommen verheilte Wunde und wurde nun wieder durch Erze verschlossen, welche wir in jener unregelmäßig in die normale Reihenfolge eingeschobenen Lage finden. Oft sind auch Stücke des einschließenden Nebengesteines in die Spalte hineingefallen. Dieselben sind unter Umständen in so großer Menge vorhanden, daß die ganze Gangmasse Breccienstruktur annimmt, wobei die Mineralien und Erze das Bindemittel zwischen den einzelnen Gesteinstrümmern bilden, um welche sie bisweilen sehr schön in konzentrischen Lagen angeordnet sind (sogenannte Ringelerze).

Verwitterung.

Bei Gesteinen, von welchen nur ein Teil der Substanz gelöst ist, zeigt sich der zurückbleibende Rest gelockert und zum Zerfalle geneigt; das Gestein ist verwittert. Der Vorgang der Verwitterung ist einer der wichtigsten für die Oberflächengestaltung unsrer Erde, er wird aber nicht durch die chemische Wirkung des reinen oder mit Kohlensäure beladenen Wassers allein hervorgebracht, sondern andre mächtige Faktoren kommen dieser Wirkung

zu Hilfe, namentlich die Eigentümlichkeit des Wassers, sich beim Gefrieren auszudehnen. Jedermann weiß, daß Eis im Wasser schwimmt; es ist leichter als dieses, es dehnt sich also beim Festwerden aus und zwar mit außerordentlicher Gewalt. Ein bekanntes Experiment zeigt z. B., daß man eine gußeiserne Bombe zum Platzen bringen kann, wenn man sie ganz mit Wasser füllt und dieses dann gefrieren läßt, nachdem die Öffnung der Hohlkugel fest verkeilt worden ist. In derselben Weise werden die Gesteine zerstört; in die Poren, Haarrisse und Sprünge derselben dringt Wasser ein, und so oft dieses friert, sprengt oder lockert es seine Hülle. Besonders intensiv ist diese Wirkung in Gebirgen, wo starker und rascher Temperaturwechsel eintritt und namentlich die Nachtfröste häufig sind. In warmen Gegenden, wo die Temperatur selten oder nie auf den Nullpunkt herabsinkt, kann keine derartige Wirkung eintreten; aber auch ohne das Gefrieren des Wassers übt schon die oft wechselnde Erwärmung und Abkühlung zerstörenden Einfluß auf die Gesteine, wie das nach den Berichten der Reisenden namentlich in den Wüstengebieten der Sahara auffallend hervortritt. Bei Tage von brennender Hitze durchglüht, erleiden diese Gesteine, sobald die Sonne vom Horizonte verschwunden ist, eine empfindliche Abkühlung, die gegen Morgen ihren Höhepunkt erreicht, um dann wieder, sobald die Sonne über dem Horizonte auftaucht, intensiver Hitze zu weichen. Jede solche Abkühlung bringt naturgemäß eine Zusammenziehung, jede Erwärmung eine Ausdehnung mit sich, und diese häufig sich wiederholende Änderung lockert den Zusammenhang, so daß selbst große Gesteinsblöcke allmählich in Scherben zerfallen.

In andern Gegenden ist auch die Vegetation geschäftig an der Zerstörung der Gesteine beteiligt. Die Wurzeln der Pflanzen senken sich in die feinen Risse des Gesteines, und mit dem allmählichen Wachstume und dem Erstarken der zarten Fasern werden diese Klüfte mehr und mehr erweitert. Die Wurzeln kleinerer Pflanzen greifen an zahllosen Punkten im kleinen an, während die großen Pfahlwurzeln mächtiger Bäume riesige Felstrümmer aus ihrer ursprünglichen Lage zu bringen im stande sind. Wenn man eine Schlucht aufmerksam betrachtet, welche mit sehr steilen, fast senkrechten Wänden in ein waldiges Terrain einschneidet, so wird man in der Regel ein oder das andre Beispiel für diesen Vorgang finden; keilförmige Gesteinsschollen sind von den Wänden abgelöst und befinden sich in einer Lage, daß man deren Abstürzen im Laufe der Zeit mit Sicherheit voraussetzen kann, und über der Kluft, die sie von der Hauptmasse des Berges trennt, erheben sich die Bäume, deren Wurzeln die Spalte unmerklich, aber ununterbrochen erweitern, bis eines Tages der Sturz der Masse eintreten wird.

Anderseits wird auch die chemische Zersetzung der Gesteine durch die Vegetation mächtig gefördert. Bei ungehindertem Luftzutritte zersetzen sich verwesende Pflanzenstoffe in der Weise, daß sich Kohlensäure und Wasser bilden. Wo aber verwesende Pflanzenstoffe sich in solcher Menge anhäufen, daß rasche Zerstörung nicht erfolgen kann, da findet eine viel verwickeltere Umbildung statt, bei welcher außer Kohlensäure und Wasser sich noch verschiedene organische Stoffe, Humin, Geïn, Säuren, wie Humussäure, Geïnsäure, ferner Glieder der Fettsäurereihe, wie Ameisensäure rc., bilden. Diese wirken als energische Lösungsmittel auf die unter der Moderschicht liegenden Gesteine, sie fördern deren Zersetzung und Verwitterung, und gleichzeitig bildet sich die oberflächliche Schicht der Dammerde oder Ackerkrume, des Humus, welche aus einem Gemenge von pflanzlichem Moder mit den Verwitterungsprodukten des Gesteines besteht. An manchen Stellen erreicht diese Oberflächenschicht eine namhafte Dicke, wie in dem bekannten Dunkelboden bei Regensburg, in dem Tschernosem Südrußlands, dessen Entstehung allerdings noch nicht hinreichend aufgeklärt ist; in der Regel aber bildet sie eine nicht sehr bedeutende Lage von gleichmäßiger Beschaffenheit.

Allerdings bleibt dabei unerklärt, wie diese innige Mengung der feinen Verwitterungsprodukte mit dem Pflanzenmoder vor sich geht, und wie es anderseits kommt, daß im

Humus, soweit er nicht durch Umarbeitung durch den Menschen gestört ist, die gröbern Partikeln, die Steine, fehlen oder sehr spärlich sind.

Eine Erklärung für diese Erscheinung gibt Darwin. Nach ihm erhält die Ackererde ihre charakteristischen Eigentümlichkeiten wesentlich durch die Thätigkeit der Regenwürmer. Er wurde zu dieser Ansicht durch die Beobachtung geführt, daß feste Körper, welche auf einer Wiese liegen, im Laufe der Jahre in den Boden versinken oder, wenn sie zu groß dazu sind, in denselben einsinken. Wenn man einen größern Stein aufhebt, der längere Zeit ruhig auf Rasen gelegen hat, so findet man, daß er nicht oberflächlich auf der Pflanzendecke ruht, sondern daß er in einem mehr oder weniger tief eingesenkten Bette im Humus liegt. Weit auffallender aber gestaltet sich die Sache bei kleinen Körpern. Darwin ging im Jahre 1837 auf einem Gute in Staffordshire spazieren und sah hier auf einer Viehweide einige Gruben, die man aus irgend einem Grunde ausgehoben hatte. An den Wänden einer jeden dieser Gruben sah er in einer Tiefe von einem Zoll unter der Oberfläche einen Streifen von Asche und $2^1/_2$—3 Zoll unter der Oberfläche einen weißen, aus Kalkstaub und kleinen Kalkklümpchen gebildeten Streifen; er erkundigte sich bei dem Eigentümer des Gutes und erfuhr, daß das Landstück vor zehn Jahren mit gebranntem Kalke und vor drei oder vier Jahren mit Asche gedüngt worden sei. Die damals ausgestreuten Lagen dieser Substanzen waren im Laufe der Zeit überall gleichmäßig in die Tiefe gesunken und bildeten unter der Oberfläche noch zusammenhängende Schichten. Dieses Versinken aller Gegenstände, die auf der Humusdecke liegen, ist das Werk der Regenwürmer; dieselben höhlen ihre Löcher im Boden in der Weise aus, daß sie die Erde verschlucken, sie durch den Verdauungskanal durchgehen lassen und dann in Form krümeliger, erdiger Kotballen an die Oberfläche fördern. Wer je die Erde einer Rasenfläche oder eines Gartenbeetes aufmerksam betrachtet hat, erinnert sich dieser gerundeten, feinerdigen Klümpchen, welche überall in großer Menge liegen, bis der nächste Regen sie zerwäscht und ihr Material gleichmäßig über den Boden verteilt. Aber nicht nur, um ihre Gänge zu bohren, schlucken die Regenwürmer Erde, sondern sie bedienen sich derselben geradezu als Nahrungsmittel, indem sie die organischen Bestandteile derselben verdauen. In dieser Weise schaffen die Regenwürmer ununterbrochen Humusteile an die Oberfläche, letztere wird erhöht; aber anderseits sinkt sie auch wieder in dem Maße nach, als das Material aus dem Untergrunde von den Regenwürmern weggenommen wird. Die Lage von $2^1/_2$ Zoll Erde, welche sich über jener Kalkschicht fand, war im Laufe von zehn Jahren in dieser Weise emporgeschafft worden, jedes Teilchen derselben hatte dazu den Weg durch den Darmkanal eines Regenwurmes genommen.

Wir können nicht weiter auf die Untersuchungen von Darwin eingehen; was hier angeführt wurde, mag genügen, um uns zu der Behauptung zu berechtigen, daß die Ackerkrume ihre feine, gleichmäßige Beschaffenheit großenteils dem Umstande verdankt, daß ihre Teile im Laufe der Zeit immer und immer wieder ihren Weg durch die Därme der Würmer nehmen, und daß dabei alle fremden gröbern Teile in die Tiefe gesenkt werden. Freilich scheint damit noch keine ganz ausreichende Erklärung gegeben, da auch in Gegenden, wo keine Regenwürmer vorkommen, sich Humus bildet.

Wo die Verwitterung ungestört wirken kann, wo die Materialien nicht vom rinnenden Wasser weggeschwemmt werden, ehe der Prozeß zu Ende geführt ist, da werden alle löslichen Teile ausgelaugt; Thone, Sande sind in der Regel die Hauptprodukte, welche zurückbleiben. Wo das Land wenig geneigt oder die Verhältnisse sonst einer Abschwemmung ungünstig sind, da häufen sich diese Verwitterungsrückstände im Laufe der Zeit zu einer bald mehr, bald weniger mächtigen Decke über den Gesteinen auf, aus deren Zerstörung sie entstanden. Solche oberflächliche Massen, welche nicht durch Wasser herbeigeführt, sondern

an Ort und Stelle entstanden sind, kann man ganz passend mit einem von Trautschold vorgeschlagenen Namen als Eluvium bezeichnen. Es ist natürlich, daß dieselben je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, über dem sie sich entwickelt haben, verschiedenartig gebildet sind; aber doch ist dies weit weniger der Fall, als man glauben sollte, da viele sehr weit voneinander abweichende Gesteine sehr ähnliche Verwitterungsprodukte enthalten. Es mögen hier nur zwei solche Gebilde, welche größere Bedeutung besitzen, und deren Ursprung von Interesse ist, besprochen werden, nämlich die Terra rossa und der Laterit.

Der Name Terra rossa stammt aus den karstigen Küstenländern des Adriatischen Meeres. Hier findet sich in sehr großer Verbreitung auf den reinen Kalken und streng an diese in ihrem Vorkommen gebunden eine rote Erde, welche namentlich in den eigentümlichen Karsttrichtern, den Dollinen, oft in großer Masse vorhanden ist. Sie besteht aus einem sehr stark eisenhaltigen Thone, dessen stete Verbindung mit den sehr reinen Karstkalken sie als das letzte Verwitterungsprodukt dieser letztern erscheinen ließ, welches als Rückstand nach der Wegführung allen kohlensauren Kalkes durch die atmosphärischen Wasser zurückbleibt. Es schien wohl seltsam, daß diese oft schneeweißen, reinen Gesteine einen roten Thon einschließen sollten; ich habe mich jedoch durch Versuche überzeugt, daß bei der Auflösung größerer Stücke von ganz weißem Karstkalke in Essigsäure wirklich eine kleine Menge roten Thones zurückblieb, der gegen 20 Prozent Eisenoxyd enthielt.

Das Vorkommen solcher Terra rossa ist keine Eigentümlichkeit der Küstenländer der Adria; in großer Entwickelung findet man sie in Griechenland, überhaupt in der Umgebung des Ägeischen Meeres, in den Klüften und Trichtern, den sogenannten Wetterlöchern, des schwäbisch-fränkischen Juraplateaus. Sie tritt fast überall da auf, wo reine Kalkschichten marinen Ursprunges eine Lagerung und Oberflächenbeschaffenheit zeigen, welche der starken Abschwemmung der Verwitterungsprodukte wenig günstig ist, oder wo geringe Regenmenge und Trockenheit des Klimas dieselbe verhindert; ja selbst, wo dies nicht der Fall ist, z. B. in den Kalkalpen, findet man oft, daß an schwach mit Humus und Pflanzenwuchs bedeckten Gehängen die wenige Erde eine auffallend rötliche Färbung hat. Ebenso ist der rote Lehm, welcher in der Regel den Boden der Höhlen und Grotten des Kalkgebirges bedeckt, nichts andres als in der Höhle zusammengeschwemmte Terra rossa.

Die Art der Bildung erscheint so weit ganz klar, allein es stellen sich doch noch zwei Fragen ein, deren Beantwortung zu einer befriedigenden Lösung notwendig ist: die eine ist die, warum nur reine Kalke Terra rossa liefern, die andre, wie denn in diese Kalke der Gehalt an rotem, sehr eisenhaltigem Thone gelangt. Die erstere Frage ist rasch und einfach gelöst. In allen unreinen Kalken sind grau gefärbte thonige Substanzen, welche verhältnismäßig wenig Eisen enthalten, in größerer Menge vorhanden, sie liefern also einen anders gearteten Rückstand. Weit schwieriger ist die Frage, woher der Thon der reinen Kalke stammt. Das Auftreten der roten Erde ist an das Vorkommen von marinen Kalken gebunden[1]; in den Verhältnissen der jetzigen Meere müssen wir daher die Erklärung für das Problem suchen, und hier finden wir einen analogen Fall. Im nächsten Kapitel wird gezeigt werden, daß ein großer Teil des Meeresbodens mit einem namentlich aus Foraminiferenschalen gebildeten weißen Kalksedimente, dem sogenannten Globigerinenschlamme, bedeckt ist. Dieser tritt in der Regel in ziemlich bedeutenden, niemals aber in den größten Tiefen auf; in diesen findet sich vielmehr ein sehr feiner roter bis schokoladenfarbener, eisen- und

[1] Gegen diese Auffassung ist eingewendet worden, daß die Süßwasserkalke der griechischen Tertiärbildungen Terra rossa liefern; dieser anscheinend entscheidende Grund beweist aber nichts, da die erwähnten Süßwasserkalke sich größtenteils in Becken von marinen Rudistenkalken und aus dem Materiale dieser letztern gebildet haben, so daß der rote Lehm hier auf dritter Lagerstätte ist. Der wahre Ursprung liegt auch hier im Rudistenkalke, dem hauptsächlichsten Erzeuger der Terra rossa in den Mittelmeerländern.

manganreicher Thon, während kalkige Partien fehlen, obwohl kalkschalige Foraminiferen in den betreffenden Regionen an der Oberfläche schwimmend leben und deren Gehäuse nach dem Tode der Bewohner zu Boden sinken. Der Grund für diese Erscheinung liegt darin, daß das Meerwasser unter dem riesigen in den größten Tiefen herrschenden Drucke alle Kalkteile auflöst. Der rote Tiefseeschlamm entsteht nach der herrschenden Ansicht wesentlich aus feinsten Bimssteinstückchen, welche auf dem Wasser schwimmen und endlich zu Boden sinken, sowie aus Meteorstaub. Diese letztern Materialien kommen natürlich auch in andern seichtern Teilen des Ozeanes zur Ablagerung, sie mengen sich aber hier mit andern Sedimenten und sind ihrer außerordentlich geringen Menge wegen neben diesen nicht unmittelbar zu beobachten; wo sie mit Sand, Thon und ähnlichen Substanzen vermischt sind, gelingt ein derartiger Nachweis überhaupt nicht, wohl aber da, wo sich der rote Schlamm unter einer vorwiegenden Menge kalkiger Teile verbirgt. Für den Globigerinenschlamm hat Murray gezeigt, daß bei einer Auflösung in verdünnter Säure Spuren von rotem Thone zurückbleiben, und alle Gründe sprechen für die Annahme, daß es sich bei allen oder wenigstens bei den meisten marinen Ablagerungen von reinem Kalke ebenso verhalten werde. Vulkane haben zu allen Zeiten existiert, und vermutlich ist auch stets Meteorstaub gefallen, und so dürfen wir voraussetzen, daß auch in allen frühern geologischen Formationen sich ebensolches eisenhaltiges Silikat in geringen Mengen niedergeschlagen habe wie heute, und daß diesem Vorgange die reinen Kalke ihren Gehalt an Terra rossa verdanken, welche dann bei der Auflösung der Kalke in kohlensäurehaltigem Wasser als Rückstand übrigbleibt und sich im Laufe der Zeit anhäuft.

Allerdings darf man nicht jeden roten Lehm, welcher oberflächlich auftritt, als Terra rossa in diesem Sinne betrachten, sondern nur jene Vorkommnisse, welche in Gesellschaft und strenger Abhängigkeit von reinen Kalken auftreten. Ganz ähnliche Bildungen von rotem Thone können auch auf anderm Wege entstehen. So habe ich mich z. B. bei meinen Reisen im Orient, namentlich in der Halbinsel Chalkidike, überzeugt, daß manche an Eisenoxydul reiche kristallinische Schiefer, sogenannte Grünschiefer, bei ihrer Verwitterung einen roten Thon bilden.

Ein andres sehr wichtiges Eluvialgebilde, das zwar in unsern Regionen nicht verbreitet ist, aber doch überaus große Flächen der Erdfeste bedeckt, ist der Laterit, welchen F. von Richthofen folgendermaßen schildert: „Der Laterit, das verbreitetste Oberflächengebilde in den feuchten Tropenregionen von Südostasien, Afrika und Brasilien, ist ein sehr eisenreiches thoniges oder thonig-sandiges Verwitterungsprodukt verschiedenartiger Gesteine; er besteht aus einem schwammig-zelligen, rot oder braun gefärbten, sehr eisenhaltigen Gewebe, dessen Höhlungen mit einer hellern, oft weißlichen Substanz ausgefüllt sind, so daß frische Ausbrüche des festen, aber doch leicht schneidbaren Lateritbodens ein geflecktes Ansehen zeigen. An der Luft aber verfestigt sich das schwammige Gewebe, nimmt dunkelbraune Färbung an und erhält ein braunes, schlackenartiges Aussehen, indem zunächst der Oberfläche der schwammige Inhalt der Zellen ausgewaschen wird. Wo immer hohe Temperatur, starker Regenfall und Waldvegetation sich vereinigen, schreitet die Bildung des weichen Laterites durch Zersetzung des unterlagernden Gesteines nach der Tiefe fort. Zugleich wächst seine Oberfläche nach oben, indem alle durch fließendes Wasser oder atmosphärische Strömungen herbeigeführten festen Bestandteile sich ebenfalls in Laterit verwandeln." Die verschiedensten Felsarten, Gneiß, Glimmerschiefer und andre kristallinische Schiefer, Flözgesteine, Eruptivmassen, wie Basalt und andre, liefern das Material zur Bildung des Laterites; doch ist man bis jetzt über die nähern Verhältnisse seiner Entstehung, über die einzelnen chemischen und mechanischen Vorgänge bei derselben noch sehr im unklaren.

Ganz gleichmäßig schreitet die Verwitterung von der Oberfläche aus gegen das Innere des Gesteines vor, alle Teile desselben auf diesem Wege gleichmäßig zerstörend, wenn das

Gefüge und die Beschaffenheit eine gleichartige ist. Häufig aber ist diese Bedingung nicht erfüllt; oft sind in einer Felsart einzelne Partien fester und widerstandskräftiger als andre, so daß dann die Abtragung eine ungleichmäßige wird. Oft sind aus einer nicht näher bestimmbaren Ursache einzelne Teile äußerst dauerhaft, während andre, welche von jenen auf frischem Bruche gar nicht unterscheidbar sind, rasch zerfallen, wie z. B. der unter dem Namen Rappakiwi bekannte Granit in Finnland. Einzelne gewaltige Blöcke trotzen jahrhundertelang allen Einwirkungen, während andre aus ihrer nächsten Umgebung in wenigen Dezennien, nachdem sie dem Froste und Regen ausgesetzt worden sind, zu Grus zerfallen. Es ist das ein Gegenstand von größter Bedeutung für die Stadt Petersburg, für welche der Rappakiwi große Mengen des herrlichsten Quadermateriales geliefert hat. Im allgemeinen war man dort, wie es scheint, glücklich bei der Auswahl, aber bisweilen wurden auch Stücke von sogenanntem faulen Rappakiwi gebrochen; dies war besonders bei dem riesigen Monolithen der Alexandersäule der Fall, welcher in einigen Jahrzehnten nach seiner Aufrichtung trotz aller Bemühungen zu seinem Schutze schon schwer gelitten hat.

Eigentümliche Verwitterungsformen treten namentlich da auf, wo ein Gestein durch ein System von mehr oder weniger rechtwinkelig aufeinander verlaufenden Klüften und Fugen eine Neigung zu quaderförmiger Absonderung hat. In erster Linie finden wir das bei manchen geologisch alten Massengesteinen, bei Granit, Syenit, Porphyr, aber auch bei Gneißen und manchen Sandsteinen. Die sickernden Wasser folgen diesen Fugen, sie bringen längs diesen Verwitterung hervor, und das Gestein löst sich allmählich in ein Haufwerk von Blöcken auf; diese werden durch weitergehende Einwirkung der Atmosphärilien an den Kanten abgerundet und nehmen in vielen Fällen die bekannten „wollsackähnlichen“ Formen an, die man in den sogenannten Felsenmeeren beobachtet. In verschiedenen Gebirgen werden diese wirren Anhäufungen abgerundeter Massen als Merkwürdigkeiten besucht; wir erinnern an das aus Granit gebildete Felsenmeer bei Auernheim im Odenwalde oder an das allerdings ziemlich bescheidene Felsenmeer von Buntsandstein am südlichen Thalgehänge des Neckar bei Heidelberg. In andern Fällen sind die nur wenig zugerundeten Quadern in phantastischer Weise übereinander getürmt, wie das die seltsamen Felsgestaltungen der Sächsischen und Böhmischen Schweiz und mancher Granitgebiete zeigen. Besondere Erwähnung verdient noch die Entwickelung sogenannter Blockgipfel, die Erscheinung, daß die obersten Partien eines Berges kein anstehendes Gestein besitzen, sondern nur aus einem Haufwerke gigantischer Felsblöcke bestehen; manche der Höhen im Harze, vor allen der Brocken, viele Berge im Fichtelgebirge, im Bayrischen Walde zeigen diesen Bau, der auch in den Schieferbergen der Zentralalpen sich oft wiederholt.

Erosion.

Die Verwitterung zerkleinert und zertrümmert das Gesteinsmaterial und ebnet dadurch die Wege für eine andre wichtige Thätigkeit des Wassers, für die mechanische Zerstörung und den Transport des Materiales im großen: die Erosion. Das Wasser fällt in Regentropfen zur Erde nieder, diese fließen, soweit sie nicht verdunsten oder in die Tiefe sickern, an der Erdoberfläche ab, sie sammeln sich zu kleinen Wasserfäden, diese zu Bächen; die Vereinigung der letztern bildet Flüsse und Ströme, welche sich endlich in Seen oder ins Meer ergießen. Das Wasser folgt dabei einfach dem Zuge der Schwere, es fließt nach abwärts. Dabei übt es auf lose, wenig widerstandskräftige Massen eine nicht unansehnliche Wirkung (s. Abbildung, S. 408): loser Sand, Lehm, plastische Thone werden unmittelbar ausgefurcht und weggeführt; auf harte, feste Felsgesteine aber wirkt das fließende Wasser an und für

sich nur sehr wenig zerstörend ein. Hier jedoch arbeitet die Verwitterung vor, sie verwandelt die Oberfläche in Schutt und Grus; diese Teile werden weggeschwemmt und verleihen ihrerseits dem rinnenden Wasser selbst in hohem Grade die Fähigkeit, auch die festesten Gesteine mechanisch zu zerstören und zu erodieren. Jedes Sandkorn, jedes Geröll, das von einem Flusse oder Bache über das anstehende Gestein fortgetrieben wird, reibt und wetzt an dessen Oberfläche, und so sägt das Wasser mit Hilfe dieser Partikeln, die es mitführt, unablässig in die Tiefe, solange die Kraft der Strömung genügend ist, um das gesamte feste Material fortzuwälzen. Wo aber infolge von Abnahme des Gefälles der Fluß dies nicht mehr vermag, da hört er auf, seine Unterlage zu erodieren, er setzt nun im Gegenteile die bisher mitgeführten Teile, Geröll, Sand, Schlamm, ab, er wirkt ablagernd.



Regenrinnen an einem Berggehänge des Salt Creek Cañon in Utah, Nordamerika (nach Clarence King). Vgl. Text, S. 407.

Natürlich greift das Wasser mit seinen mechanischen Wirkungen leicht zerstörbare Gesteine in viel energischerer Weise an als widerstandskräftige, und indem die erstern abgeschwemmt und fortgeführt, die letztern dagegen verhältnismäßig länger erhalten bleiben, werden unter Umständen eigentümliche Erscheinungen hervorgerufen. Oft auch arbeiten an deren Zustandekommen chemische und mechanische Kräfte so innig verbunden, daß es nicht immer möglich ist, genau zu unterscheiden, welcher Anteil dem einen, welcher dem andern Faktor zugeschrieben werden solle. Eine rein mechanische Wirkung des Wassers, die trotz der äußersten Einfachheit des Vorganges doch die seltsamsten Terrainformen mit sich bringt, ist die Bildung der sogenannten Erdpyramiden oder Erdpfeiler, die zwar an verschiedenen Punkten auftreten, zuerst aber und wohl auch am schönsten auf dem Ritten bei Bozen beobachtet worden sind. In den Thälern des Katzenbaches und des Finsterbaches sieht man Hunderte von schlanken, meist nach allen Seiten frei stehenden Pfeilern, die aus einem ziemlich

festen rötlichen Thone bestehen und auf ihren Spitzen meist je einen großen Steinblock tragen. Die Höhe dieser seltsamen Gebilde steigt bis zu 30 m an, an der Basis haben sie meist eine steil pyramidale, oben schlank kegelförmige Gestalt (s. untenstehende Abbildung). Die Entstehung dieser vielbewunderten „Mandeln", denen namentlich Lyell große Aufmerksamkeit geschenkt hat, ist eine sehr einfache; ein Blick auf die Gehänge des Thales zeigt, daß diese aus genau demselben rötlichen Thone bestehen wie die „Mandeln", und daß diesem in bedeutender Menge ganz unregelmäßig Steine und große Blöcke beigemengt



Erdpfeiler am Ritten bei Bozen.

sind. Die ganze Anordnung und Lagerung sowie der Umstand, daß die Steine großenteils poliert und geritzt sind, läßt die ganze Bildung als eine aus der Eiszeit stammende Gletschermoräne erkennen. In dieses Material haben die Bäche ursprünglich ganz schmale, tiefe Kanäle eingegraben, deren Erweiterung und sanftere Böschung der Wirkung des von den Wänden ablaufenden Regenwassers zuzuschreiben ist, welches den Thon allmählich wegschwemmte. Dabei bildeten nun auf der Oberfläche liegende oder im Laufe der Denudation allmählich aus der umhüllenden Masse hervortretende größere Blöcke ein schützendes Dach für die ihnen unmittelbar zur Unterlage dienenden Teile des Thones; diese bleiben als Pfeiler stehen, während die ganze Umgebung ausgewaschen wird, und so ruhen diese großen Porphyr- und Granittrümmer durch die Jahrtausende andauernde Einwirkung des Regenwassers endlich auf mitunter turmhohen Säulen, deren Seiten durch die kleinern der Masse eingelagerten Steine eine eigentümliche Kannelierung erhalten.

Da derselbe Blocklehm in den Alpen viel verbreitet ist, so kehren auch Erdpfeiler an vielen Punkten wieder, und namentlich diejenigen einiger Lokalitäten im Kanton Wallis in der Schweiz werden ihrer Schönheit wegen gerühmt. Auch anderwärts treten unter ähnlichen Verhältnissen ähnliche Bildungen auf; dieselben sind nicht auf glazialen Blocklehm beschränkt, sondern es bedarf nur irgend eines unter günstigen Terrain- und Niederschlagsverhältnissen vorkommenden, verhältnismäßig leicht zerstörbaren, hinreichend mächtigen Materiales, dem unregelmäßig grobe Blöcke eingestreut sind, eine Bedingung, wie sie z. B. auch bei zarten vulkanischen Tuffen mit beigemischten großen Auswürflingen geboten erscheint (s. Abbildung, S. 412 rechts). Die Erzeugung solcher phantastischer Formen ist aber



Erodierte Felspartie unterhalb Platte Cañon in Colorado, Nordamerika (nach Hayden).

nicht nur auf diese Fälle beschränkt, sondern sie ist sehr allgemein verbreitet, wo einzelne Partien eines Gesteines durch größere Widerstandsfähigkeit ihrer Umgebung gegenüber ausgezeichnet sind. Säulen, Nadeln, Obelisken, pilzförmige Gebilde, kurz eine Menge der bizarrsten Formen wittern auf diese Weise aus ihrer Umgebung hervor (s. obenstehende Abbildung). Oft haben sie ganz riesige Dimensionen, wie z. B. die S. 412 links abgebildete „Kathedralenklippe" aus Colorado im westlichen Nordamerika, während sie in andern Fällen nur eine sehr bescheidene Größe erreichen. Im allgemeinen sind jedoch solche Erscheinungen in trocknen und regenarmen Gegenden häufiger als in feuchten, und ganz besonders ist jene gewaltige Einsenkung, welche in Nordamerika zwischen der Sierra Nevada und den Rocky Mountains liegt, durch die Menge solcher Felsgebilde ausgezeichnet; ein Strich hat infolge der gewaltigen Zahl derselben den Namen des „Monumentenparkes" erhalten (s. auch Abbildung, S. 411, und die beigeheftete Tafel „Natürliche Säule in Wyoming, Nordamerika"). Ein andres Beispiel eigentümlicher Erosionsformen im großartigsten Maßstabe zeigt die Abbildung



NATÜRLICHE SÄULE in WYOMING (Nordamerika)

auf S. 413, welche eine Gruppe aus Kreidegesteinen bestehender natürlicher Pfeiler von riesiger Größe darstellt, wie sie sich bei Saèrmi im Kaukasus finden.

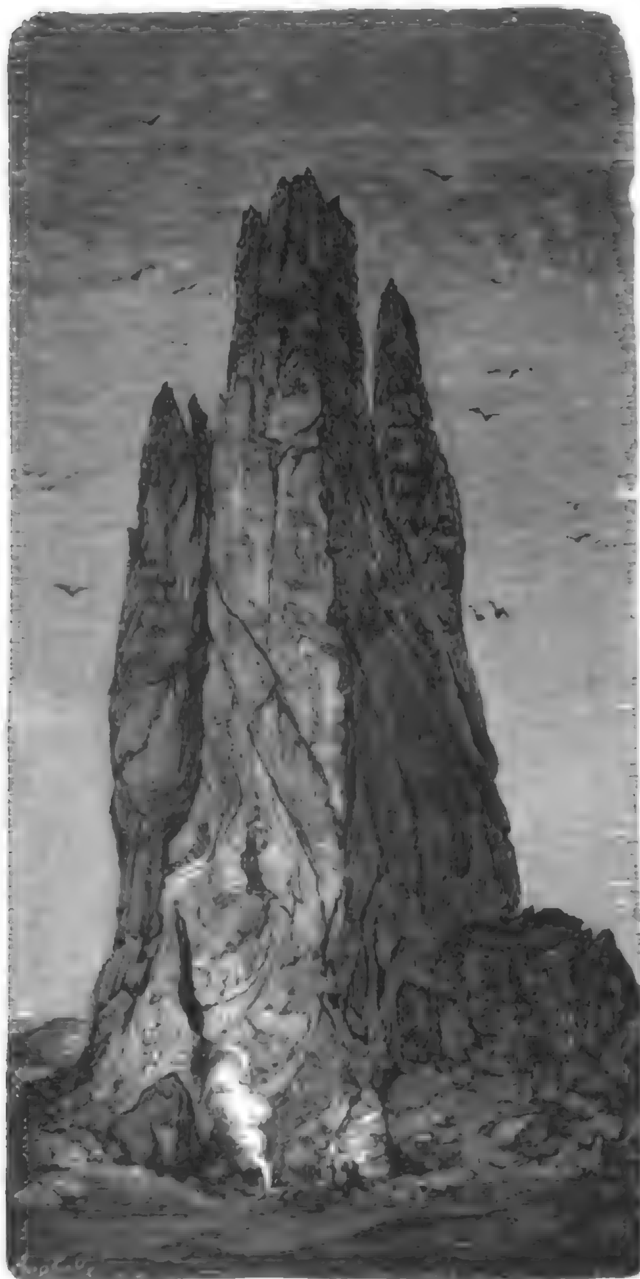
So auffallend und seltsam solche Verwitterungsformen erscheinen mögen, so sind es doch immer sehr einfache Vorgänge, durch welche dieselben bedingt werden: die wirksame Ursache ist das dem Zuge der Schwere folgende Wasser, welches auf seinem Wege feste Bestandteile mitreißt oder durch Unterwaschung zum Sturze in die Tiefe bringt. Die Stärke dieser Wirkung ist, abgesehen von der Menge des Wassers, abhängig von dem Gefälle desselben und von der Beschaffenheit des Materiales, an dessen Abtragung es wirkt. An den



Erodierte Felspartie in Wyoming (Nordamerika). Vgl. Text, S. 410.

schroffen Gehängen des Hochgebirges nagt natürlich das flüssige Element mit sehr viel größerm Erfolge als in flachem Terrain, in losen Schuttanhäufungen viel energischer als in festem Fels. In den Hochregionen ist die Zerstörung eine überaus große, und im innigsten Zusammenhange beteiligen sich die verschiedensten Faktoren an derselben. Wenn man in den Alpen in schroffem, vegetationsarmem Gebiete herumstreift, hört man durch die Stille das klappernde, jeden Augenblick sich erneuernde Geräusch abstürzender Felstrümmer. Die fortschreitende Zerklüftung des Gesteines, in Verbindung mit der lockernden Thätigkeit des Regenwassers, versetzt allmählich ansehnliche Massen in einen Zustand, daß der geringste Anstoß sie zu Falle bringt. Von der Bahn, die ein flüchtiges Rudel Gemsen in wilden Sätzen durcheilt, gehen ganze Trümmerströme ab; an manchen üblen Felsgehängen findet man kaum einen Zacken, welcher der Hand Halt genug bietet, um die Last des Körpers nachzuziehen, und unter dem wuchtigen Tritte des mit den zackigen Steigeisen gewappneten Fußes brechen ganze Ladungen in die Tiefe; es ist an solchen Stellen, als

ob der ganze Berg lebendig würde. Natürlich stürzen auch ohne äußern Anstoß, nur infolge der Zerklüftung und Unterwaschung große Mengen von Steinen und poltern bergab, namentlich gewissen Einrissen, „Steinschlagrinnen“, folgend, von welchen manche deshalb bei Bergwanderungen überhaupt nicht als Anstiegslinien benutzt werden können oder doch jeden, der sich in ihren Bereich wagt, mit dem Tode bedrohen.


Kathedralenklippe in Colorado, Nordamerika. Vgl. Text, S. 410.

Fallen auch die Blöcke ohne äußern Anstoß in der Regel nur einzeln, so sind doch die Massen, welche auf diesem Wege im Laufe der Zeit in die Tiefe gefördert werden, ganz ungeheure. Wo ein habituelles Sturzgebiet von Blöcken, eine Steinschlagrinne, eine Runse, durch die das Geröll, etwa durch einen Wildbach gefördert, in ein größeres, flacheres Thal mündet, da häuft sich das heruntergebrachte Material in Kegelform an; die Spitze des Kegels lehnt sich an das untere Ende der Rinne, die Basis breitet sich über den Thalboden aus. Fließt ein Bach mit aus, so wird dieser Kegel ein sehr flacher; ist es aber nur Schutt, der, seiner Schwere folgend, hier ankommt, oder ist derselbe nur von sehr wenig Wasser begleitet, so wird der Kegel sehr steil und baut sich unter dem stärksten überhaupt möglichen Böschungswinkel auf. Wenn mehrere solcher Kegel an einem Gehänge nahe aneinander liegen, so verschmelzen ihre untern Teile miteinander und bilden eine Schutthalde. Lehrreich ist es, von einem dominierenden Höhenpunkte aus in die Thalgründe hinabzusehen


Erdpfeiler aus vulkanischem Tuffe in Colorado, Nordamerika (nach Endlich). Vgl. Text, S. 410.

und die schön regelmäßigen Böschungsformen zu beobachten, welche diese Trümmerströme bilden. Blickt man z. B. von dem Gipfel des Sonnjoches am Achensee in den Hintergrund des Falzthurnthales, so sieht man, wie dort der ganze Thalboden lediglich durch die von allen umliegenden Bergen herabziehenden Steinströme zugeschüttet ist.

Bergstürze und Erdrutschungen.

Nicht immer beschränkt sich die Bewegung des Gesteinsmateriales auf einzelne Blöcke, bisweilen nehmen die Erscheinungen großartige Dimensionen an, und es ereignen sich verheerende Katastrophen, welche die Bewohner der Gebirgsthäler schwer heimsuchen. Die furchtbarsten Wirkungen üben die **Bergstürze**, bei welchen sich riesige Felsmassen auf einmal loslösen und herabstürzen. Wenn man von Bergstürzen spricht, so darf man in



Erodierte Kreidefelsen bei Saėrmi im Kaukasus (nach Abich). Vgl. Text, S. 411.

den meisten Fällen nicht glauben, daß das Wort in seinem vollsten Sinne angewendet werde, daß wirklich ein ganzer Berg eingestürzt sei. Es sind an sich, nach menschlichem Maßstabe, enorme Felsbrüche, aber im Verhältnisse zur ganzen Masse des Berges sind sie doch nur sehr geringfügig; es werden nur kleine Ausschartungen der Gehänge erzeugt, und sobald die Bruchfläche sich mit Vegetation bekleidet hat, ist der Verlust selbst für den genauen Kenner der Gegend fast ohne merklichen Einfluß auf die Physiognomie des Berges. Der Bergsturz, welcher im Jahre 1881 Elm im Kanton Glarus so fürchterlich heimsuchte, hat 10 Millionen Kubikmeter Gestein ins Thal geworfen; aber der Tschingelberg, von welchem dasselbe losbrach, ist kaum merklich geändert. „Die Wunde am Tschingelberge ist mehr durch ihre kahlgraue Farbe als durch die Form sichtbar; wieder bewaldet, würde selbst ein Kenner der Gegend aus einiger Entfernung den Abbruch nicht leicht beachten." (Heim.)

Daß in sehr seltenen Fällen auch ein ganzer Berg zusammenbrechen kann, beweist ein merkwürdiger Fall in der Brentagruppe im südwestlichen Tirol, der sich im Mai 1882 ereignet hat. Über diese Katastrophe, von welcher fast zwei Jahre hindurch keine Nachricht in die Außenwelt gedrungen ist, berichtet E. Richter folgendermaßen: „Das herrliche Gebiet der Brentagruppe besteht vielfach aus prismatischen Felskörpern, die sowohl isoliert als auch orgelpfeifenartig aneinander gereiht vorkommen, so daß sie im allgemeinen an die bekannten Formen der drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol (s. Abbildung, S. 13) erinnern. Ein solcher Felskörper verlor nun seinen Halt und stürzte in das Thal, das von der Alpe

Brenta Alta nach der Bocca di Brenta hinaufführt. Alle diese Felszähne sind quer auf ihre Höhendimensionen geschichtet, und es scheint nun, daß der betreffende Felskörper, welchen die Schichtung nicht horizontal, sondern schief durchsetzte, von einer Schichtfläche abgeglitten ist, als das eingesickerte und gefrorne Wasser ihn von seiner Verbindung losgelöst hatte.

„Die Höhe des abgestürzten Körpers beträgt jedenfalls mehrere Hundert Meter, ob 400 oder mehr, wage ich nicht zu entscheiden, der Durchmesser etwa den vierten Teil der Höhe. Diese Masse ist nun zunächst eine Wandhöhe von etwa 200 m herabgefallen, dann auf eine vorspringende Bastion aufgeschlagen und hat sich von hier aus nach allen Richtungen in das Thal ergossen. Das Auffallende und Merkwürdige an der Sache ist die Wahrnehmung, daß dieser harte weiße Kalk nach seinem hohen Sturze nicht wie ein fester Körper am Orte seines Falles liegen blieb, sondern wie eine Flüssigkeit, die hoch herab ausgegossen wird, nach allen Seiten unglaublich weit auseinander gestoben ist. Beweis dafür ist die eine Thatsache, daß man mehr als 1½ Stunde über die Trümmer zu klettern hat, wenn man zur Bocca di Brenta hinaufsteigt. Dabei konnte natürlich die Schicht, in welcher das Trümmerwerk den Boden bedeckt, nicht sehr mächtig werden; ich schätze dieselbe in den äußern Partien des überdeckten Umkreises nur auf wenige Meter.

„Es müßte ein überwältigender Anblick gewesen sein, diese Kaskade von weißem, kieselhartem Kalke zu sehen, welche sich unter betäubendem Geräusche scheinbar flüssig wie Wasser über die Felswände herab ergoß, umschwärmt von einem Hagel scharfkantiger Geschosse, die nach allen Seiten davonsprühten. Doch gönnte die Natur keinem Sterblichen diesen Anblick; eine regnerische Nacht verhüllte das Schauspiel, nur die Bewohner von Santa Maria di Campiglio hörten das entsetzliche Getöse und glaubten, die Welt gehe unter."

Die Veranlassung zum Eintritte eines Bergsturzes kann sehr verschiedener Art sein, die Ursache besteht stets darin, daß eine große Felsmasse, die schon vorher auf dem Punkte war, an welchem die natürlichen Böschungsverhältnisse eben noch den nötigen Halt boten, auf irgend eine Weise dieser Unterstützung beraubt wurde und nun herabstürzt. Wohl der einfachste Fall ist der, daß steil aufgerichtete Schichten gegen ein Thal einfallen. Befindet sich nun unter diesen eine leichter zerstörbare Lage, z. B. eine mergelige oder thonige Bank zwischen festen Kalken, und wird diese durch unterirdisch zirkulierende Wasser ausgewaschen, so verlieren die darüberliegenden Kalke ihren Halt und gleiten endlich auf der unterwaschenen Schichtfläche in die Tiefe. Auf diese Weise, durch Abgleiten der „grauen Liaskalke" auf einer geneigten Schichtfläche, ist, wie Benecke und Mojsisovics gezeigt haben, vor Jahrhunderten jener große Bergsturz entstanden, der bei Roveredo in Südtirol vom Monte Zuna ins Etschthal hinabgegangen ist und über die ganze Breite des letztern reichte, so daß die Etsch gestaut wurde. Dante berichtet in der „Göttlichen Komödie" über die „Lavini di San Marco", unter deren Trümmern eine Stadt begraben liegen soll:

„Dem Bergsturz gleich bei Trento — in den Schoß
Der Etsch ist seitwärts Trümmerschutt geschleudert
Durch Unterwühlung oder Erdenstoß —
Wo von dem Gipfel, dem er sich entrissen,
Der Fels so schräg ist, daß zum ebnen Land,
Die oben sind, den Steg nicht ganz vermissen."

Noch ungleich gewaltiger war jener Sturz, der, durch das Erdbeben vom 25. Januar 1348 veranlaßt, vom Dobratsch in Kärnten niederging und 19 Dörfer verschüttete (vgl. S. 286).

Unter den zahlreichen Bergstürzen aus neuerer Zeit war namentlich derjenige von furchtbarer Wirkung, welcher sich am 2. September 1806 zu Goldau in der Schweiz ereignete. Große Massen tertiärer Nagelfluh gerieten auf einer ausgewaschenen Mergelbank ins Gleiten, 15 Millionen Kubikmeter Gestein kamen ins Thal; 457 Menschen gingen zu Grunde, 111

Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe wurden verschüttet. Ein Augenzeuge, Zaym, schildert die Katastrophe folgendermaßen: „Das unterhalb gelegene Berggehänge fing an, sachte hinzugleiten. Mit einemmal stürzt zu oberst an der größten Felswand ein mächtiges Stück nieder, die Felswände fangen langsam an, von ihrer Mutterschicht sich loszutrennen und gegen die Tiefe hinabzusinken. Das Erdreich am Bergabhange fängt nun auch an, sich voneinander zu schieben und statt der grünen Rasendecke die bräunlichschwarze Farbe nach außen zu kehren. Die untern Wälder bewegen sich allgemach, und Tannenbäume in unzähliger Menge schwanken hin und her. Ganze Scharen von Vögeln lüften schnell ihre Flügel und richten unter Geschrei ihren Flug dem Rigi zu. Einzelne größere Steine rollen schon den Berg hinab, zerschmettern Häuser, Ställe und Bäume, und mehrere stürzen in verschnellertem Laufe als Vorboten der bald nacheilenden Masse in die Tiefe des Thales.

„Nun wird mit einemmal die Bewegung der Wälder stärker; ganze Reihen der vorher losgewordenen und sich senkenden Felsstücke, ganze Reihen stolzer Tannen, auf der obersten Felskante sonst so prachtvoll ruhend, stürzen in Unordnung übereinander und in die Tiefe nieder. Alles Losgerissene, Wald und Erde, Stein und Felswände, gerät jetzt ins Gleiten, dann in schnellern Lauf und nun in blitzschnelles Hinstürzen. Getose, Gekrach und Prasseln erfüllt wie tief brüllender Donner die Luft, erschüttert das Ohr und tönt im Widerhalle von tausend Bergklüften noch gräßlicher. Ganze Strecken losgerissenen Erdreiches, Felsstücke so groß und noch größer als Häuser, ganze Reihen von Tannen werden aufrecht stehend durch die Luft geschleudert. Die Schichtfetzen fliegen durch die Luft, man sieht unter ihnen durch die Landschaft im Hintergrunde. Ein rötlichbrauner Staub erhebt sich in Nebelgestalt von der Erde, hüllt die zerstörende Lawine in trübes Dunkel ein und läuft als düstere Wolke, wie vom Sturmwinde gepeitscht, vor ihr hin. Berg und Thal sind erschüttert, die Erde bebt, Felsen zittern, Menschen erstarren beim Anblicke dieser fürchterlichen Szenen. Vögel, im Fluge gehindert, fallen auf die Stätte der Verheerung nieder, Häuser, Menschen und Vieh werden schneller als eine aus einer Kanone losgeschossene Kugel über die Erde hin und selbst durch die Luft fortgetrieben. Die aus ihrer Ruhe aufgeschreckte Flut des Lowerzer Sees bäumt sich auf und fängt im Sturmlaufe auch ihre Verheerung an. Ein großer Teil der zerstörenden Masse erstürmt, im Thale angekommen, noch den jenseitigen steilen Fuß des Rigiberges, und einzelne Bäume und Felsstücke fliegen hoch am Abhange hinauf. Während der wenigen Augenblicke, in welchen der Leser diese Schilderung liest, in der Frist von 3 bis 4 Minuten, hat das Ereignis begonnen und seinen Lauf vollendet."

Häufig findet der Abbruch nicht längs einer geneigten Schichtfläche statt, sondern an beliebigen Klüften, welche im Gesteine verlaufen; Unterwaschung durch einen Fluß, vermehrte unterirdische Zirkulation des Wassers infolge von Entwaldung können den Anlaß bieten. Den letzten Anstoß zum Eintritte des Ereignisses gibt häufig ein heftiger, mehrere Tage anhaltender Regenfall, wie ja in den Alpen die meisten Bergstürze im April, zur Zeit der Schneeschmelze, oder im September, nach den heftigen Sommerregen, niedergehen.

Klar liegen die Ursachen bei der letzten großen Katastrophe, welche in den Alpen vorgekommen ist, bei dem Bergsturze von Elm im Sernfthale bei Glarus in der Schweiz. Wir verdanken Heim eine sehr eingehende Untersuchung dieses Falles, der wir das Folgende entnehmen: Über dem Orte Elm erhebt sich mit steilen Gehängen der Tschingelberg, welcher aus stark aufgerichteten und gewundenen Schichten eines der ältern Tertiärzeit angehörigen Thonschiefers besteht und infolge seiner starken Neigung, des verhältnismäßig geringen Haltes und der starken Störung der Schiefer an sich schon Anlage zu drohenden Abbrüchen zeigte. Schon aus früherer Zeit wird von einzelnen kleinern Ereignissen dieser Art berichtet, die immerhin genügten, um einige Felder zu verschütten. Zum Unglücke des Ortes bemerkte man, daß die Schiefer des Tchingelberges ein technisch wertvolles,

namentlich zur Herstellung von Schreibtafeln ausgezeichnet geeignetes Material darstellen; man fing an, dieselben auszubeuten, bald vergrößerte sich der Betrieb, es entstand ein bedeutender Steinbruch, der namentlich an Nürnberger Fabriken das Material zu Millionen von Schreibtafeln lieferte. Aber diese Ausbeutung wurde ohne Rücksicht auf die möglichen Folgen, ohne gehörige technische Leitung, planlos ausgeführt und das gefährliche Gehänge unterwühlt; zudem wurde sehr viel und stark mit Pulver und Dynamit gesprengt und durch die fortwährende Erschütterung bei den Explosionen das innere Gefüge des Gesteines gelockert. Im Jahre 1879 war das Gehänge durch den Steinbruch auf eine Länge von 180 m unterwühlt, und die Folgen solcher Arbeiten machten sich rasch geltend; kleine Abbrüche und Spaltenbildungen traten unten auf, allmählich aber zeigten sich auch hoch oben am Gehänge unheilverkündende Risse, kleinere Stürze erfolgten, und Jäger und Wildheuer berichteten, daß man die Erschütterung bei Sprengungen unten hoch oben am Berge fühle. Es bildete sich in der Höhe eine große Hauptspalte, „der große Chlagg", der ein mächtiges Stück aus dem Gehänge herauszuschneiden schien; Ende August 1881 war die Kluft 2—3 m breit, und der unterhalb derselben liegende Boden hatte sich um 4—5 m gesenkt. Der Boden im Walde blähte sich an manchen Stellen, Steinstürze mehrten sich, der Steinbruch wurde Anfang September verlassen, aber einen größern Einsturz erwartete man erst im Frühjahre zur Zeit der Schneeschmelze.

So kam der 11. September, der Vormittag brachte einige Abstürze, aber gegen Abend trat die Katastrophe ein, über welche Lehrer Wyß berichtet: „Von nachmittags 4 Uhr an stand ich am offenen Fenster, die Uhr in der Hand, und beobachtete möglichst scharf die Bewegungen des Berges. Immer schälten sich bald oben, bald mitten oder unten kleinere Portionen ab, die obersten Tannenreihen des Waldes begannen sich rückwärts in die Felsspalten zu senken.

„Der erste größere Sturz erfolgte genau 5 Uhr 15 Minuten; die Felsmassen schossen blitzschnell zu Thal, sie bedeckten das Schieferbergwerk, die mit Schiefer und Werkzeugen angefüllten Warenlager der Gemeinde, das Grundstück Allmeindli samt der ‚Wirtschaft zum Martinsloch', aus welcher die Bewohner zwei Tage vorher geflohen waren. Auch die Rinnen des Tschingel- und Raminbaches wurden ausgefüllt. Die Bewohner des Unterthales (einer vom Hauptdorfe etwas abseits liegenden, besonders stark bedrohten Ortschaft) flohen gegen die Anhöhen zu den Stätten der Liegenschaften Alpegli und Jägliweid unterhalb Düniberg, wo sie sich sicher wähnten. Aus dem Dorfe eilten einige Männer nach dem Unterthale, um retten zu helfen. Der zweite, noch größere Sturz erfolgte 17 Minuten später (5 Uhr 32 Minuten) und fegte mit rasender Schnelligkeit über die frühere Schuttmasse ins Unterthal, verschüttete mehrere schöne Güter und das Haus des Murrwirtes Jakob Disch. Noch 4 Minuten, und es erfolgte der Hauptsturz. Die gewaltige Masse, unten ausgleitend, krachte hoch durch die Luft daher. Der Erdboden zitterte; ich eilte schleunigst aus dem Hause über die Landstraße. Kaum hatte ich 20 Schritt gethan, so krachten hinter mir die Häuser im Müsli zusammen. Nach meiner Schätzung, in Übereinstimmung mit andern zuverlässigen Zuschauern, hatte die Schuttmasse in 2, höchstens 3 Minuten[1] das untere Ende, wo sie jetzt liegt, erreicht. Eine grausige, schiefergraue Staubwolke lagerte über der gräßlichen Unglücksstätte."

Die Felsmassen, welche herabkamen, werden auf 10 Millionen Kubikmeter geschätzt; beim Hauptsturze flogen sie einem Wasserfalle vergleichbar herab, fielen beim Steinbruche auf und

[1] In Momenten der Todesgefahr wird die Zeitdauer sehr überschätzt; Heim hat die Zeitangaben dadurch zu kontrollieren gesucht, daß er versuchte, wie lange Zeit man braucht, um die Strecken in raschem Laufe zurückzulegen, welche einzelne der Geretteten während des Hauptsturzes durchmessen zu haben angaben, und kam dadurch zur Annahme einer Dauer von 10 bis höchstens 25 Sekunden.

wurden nun von den nachdrängenden Massen blitzschnell horizontal über den Thalboden weggeschoben, sie brandeten an dem Gehänge des Düniberges hinan und schossen dann, durch diesen abgelenkt, thalabwärts, den Ackerboden aufschürfend und Häuser vor sich herschiebend und zermalmend. Der Weg im Thale, der auf diese Weise zurückgelegt wurde, beträgt 1400 m. Die dabei erzeugte Luftströmung war so stark, daß sie Menschen in die Höhe wirbelte und in einiger Entfernung niedersetzte, und manche der Bewohner verdanken ihre Rettung solch unheimlicher Luftfahrt. Der durch diesen Bergsturz angerichtete Schade wurde von Pfarrer Buß in Glarus in ergreifender Weise geschildert; von 1000 Menschen



Der Bergsturz bei Elm vom 11. September 1881 (nach Heim).

wurden 115 verschüttet und erschlagen, 83 Gebäude zerstört, der Schieferbruch, eine Haupteinnahmequelle der Einwohner, und die fruchtbarsten Thalstrecken für immer verwüstet (s. obenstehende Abbildung).

In andern, wenn auch seltenern Fällen bieten Erdbeben den Anstoß, wie wir das z. B. bei den furchtbaren Erschütterungen sahen, welche im Jahre 1870 in der Umgebung von Delphi stattgefunden haben, und wie es am Dobratsch der Fall war. Eins der gewaltigsten Ereignisse dieser Art, das sich in Armenien am Fuße des Großen Ararat zugetragen hat, und bei welchem das Dorf Anguri vollständig vernichtet wurde, hat Abich geschildert. Von Anguri aus führt eine enge, tiefe Schlucht, ein „Baranco“, zu einem mächtigen, in den Körper des Ararat einschneidenden, gletschererfüllten Felszirkus. Durch ein sehr heftiges Erdbeben löste sich ein riesiger Bergsturz von den Gehängen der Schlucht los, so daß diese bis zu einer gewissen Höhe vollständig abgesperrt und der Gletscherbach mächtig gestaut wurde. Gleichzeitig stürzten aus den höhern Regionen gewaltige Massen

von Eis, Firn und Felstrümmern nieder und wälzten sich in den durch Aufstauung des Baches entstandenen See. 72 Stunden lang vermochte der durch den Bergsturz gebildete Thalriegel dem Drucke dieser breiigen Massen zu widerstehen, dann wurde er durchbrochen, und ein furchtbarer Strom von Wasser, Eis, Schlamm, Schutt und riesigen Felsblöcken raste im Thale bergab, begrub Anguri samt seinen Einwohnern und führte ungeheure Felsblöcke auf die Entfernung von einer geographischen Meile (7 Werst) mit sich fort. Der größte derselben hatte einen Umfang von 285 Fuß.

In großer Zahl werden aus den verschiedenen Gebirgen Bergstürze aufgezählt, welche in den letzten Jahrhunderten, Leben und Eigentum der Einwohner vernichtend, herabgekommen sind; aber natürlich bietet diese traurige Liste nur eine sehr dürftige Vorstellung von der Menge solcher Ereignisse, die sich wirklich vollzogen haben. Es ist sehr zweifelhaft, ob heute, wo doch überall geologische Aufnahmen gemacht werden, wo die Freude an der großartigen Natur und der Bergsport jährlich Tausende von Fremden in die Alpen führen, jeder Bergsturz bekannt wird, der in einem abgelegenen, nicht bewohnten und nur selten betretenen Thale sich ereignet. Ganz sicher aber ist es, daß uns aus frühern Jahrhunderten nur von den allerauffallendsten und gewaltigsten Erscheinungen das Andenken aufbewahrt worden ist.

Wir haben oben bei der Schilderung des Bergsturzes von Elm gesehen, wie der Bruch sich allmählich vorbereitete, wie das Absitzen des Terrains, die Bildung der Spalten, die kleinern Abrutschungen vorangingen, und daß man den Eintritt größern Schadens voraus sah. In derselben Weise kündigen sich alle derartigen großen Stürze vorher an, und es ist von großem Werte, die Symptome genau festzustellen, wenn auch die Erfahrung zeigt, daß keine noch so eindringliche Warnung die Sorglosigkeit und das Beharrungsvermögen der Bergbewohner, ihre Anhänglichkeit an die Scholle zu überwinden vermag. **Heim** hat die dem Sturze vorangehenden Erscheinungen genau untersucht und gelangte zu folgendem Ergebnisse:

„Die Erfahrung hat gelehrt, daß Vorzeichen eines Bergsturzes niemals fehlen und namentlich bei großen Bergstürzen in auffallender Weise sich zeigen, indem der Abbruch sich langsam oft während Jahrzehnten vorbereitet. Kein Bergsturz tritt plötzlich ein. Es ist ferner von Bedeutung, die Vorzeichen kleinerer, unbedeutender Gesteinsablösungen von denen größerer Bergstürze und diejenigen der Schuttbewegungen von denjenigen der Felsbewegungen zu unterscheiden. Handelt es sich um Schuttbewegungen, so beobachtet man meistens zahlreiche weniger lange Spalten, welche sich in Reihen anordnen; handelt es sich um eine große, gefährliche Felsabtrennung, so ist der obere Abriß gewöhnlich durch *eine zusammenhängende Hauptspalte* gebildet. Am obern Rande des Tschingelberges bei Elm z. B. hat eine solche im Sommer 1879 begonnen und bis August 1881: 400 m Länge erreicht, wobei der äußere Teil um mehrere Meter sich nach unten und vorn gesenkt hatte, was eine Massenabtrennung gefährlichster Art andeutete. Ganz ähnliche Berichte haben wir von Goldau und Plurs. Je länger bei fortgesetzter Bewegung der Sturz ausbleibt, desto größer wird er sein. Naht der Abbruch, so erweitern sich die Spalten stetig, und einzelne kleinere, vorgestoßene Steinstücke lösen sich zuerst oben und an den Seiten ab. Dieses Steingeriesel nimmt im Verlaufe von Stunden oder Tagen zu, größere Trümmer poltern immer weiter hinab, und sieht man endlich Steinstücke im untern Teile des Abrißgebietes herausbrechen, was auf ein Weichen des Fußes hindeutet, dann ist der Abbruch ganz nahe. Bei ganz großen Bergstürzen hat man stets ein vorangehendes Knistern, Krachen oder Knirschen, oft sogar ein Knallen im Innern des Berges selbst bis auf mehrere Kilometer Entfernung auch dann vernommen, wenn keine Steinstürze Geräusch verursachten. Dasselbe rührt offenbar von der innern Bewegung der abreißenden Massen her. In Plurs, in Goldau, an den

Diablerets, in Elm begannen diese Erscheinungen wenigstens 6—10 Stunden, am Vorderglärnisch 21 Stunden vor dem Sturze. Im Schieferbruche von Elm hatte man sie in stiller Nacht schon seit langer Zeit vernommen. Eine Menge andrer Vorzeichen, wie z. B. Aufspritzen von Steinen am Fuße des Berges von Goldau, sobald der Boden mit einem Werkzeuge verletzt wurde, in andern Fällen plötzliches Trüben oder Versiegen von Quellen ꝛc., sind weniger allgemeiner Natur. Sehr oft zeigen sich die Tiere empfindlicher für die Vorzeichen als die Menschen. Am Monte Conto bei Plurs verließen die Bienen schon zwei Tage vorher in Schwärmen ihre Stöcke, die Kühe auf der Weide wurden sehr unruhig und flohen zum Teile. In Elm sind die Menschen nicht geflohen, aber Vögel, Katzen und eine Kuh haben sich durch rechtzeitige Flucht gerettet.

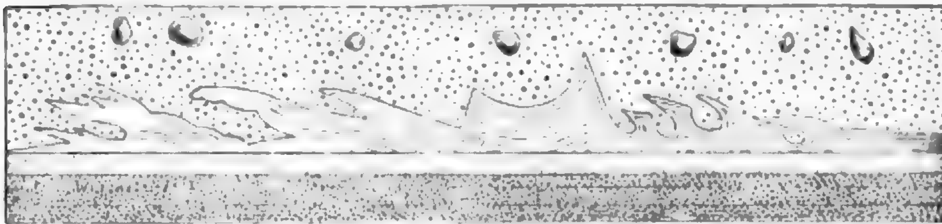
„Wir können mit aller Bestimmtheit sagen, daß in Plurs, an den Diablerets, in Goldau, in Elm und noch bei vielen andern großen Bergstürzen kein einziger Mensch sein Leben verloren hätte, wenn diese Vorboten richtig gewürdigt worden wären, anstatt daß man da und dort die Ängstlichen durch Verlachen zum Schweigen gebracht hat. Es ist für uns vielfach sogar unbegreiflich, daß die Menschen dem zunehmenden Gepolter zusahen, ohne zu fliehen. Der Sturz am Vorderglärnisch, dessen Vorboten allerdings für die Thalbewohner leicht sichtbar und hörbar waren, ist der einzige mir bekannt gewordene, bei welchem man rechtzeitig flüchtete. Nicht etwa, daß man die Vorboten in den andern Fällen übersehen hätte, bei den meisten der genannten Beispiele war man überzeugt, ‚daß der Berg einmal kommen werde‘, sie kannten und bemerkten die Vorboten, ohne ihnen zu glauben und sie zu würdigen.

„Für die außerhalb des Gebirges aufgewachsenen, leichter erregbaren Menschen ist die Ahnungslosigkeit, welche meistens die Bergbewohner zeigen, geradezu unbegreiflich. Allein man gewöhnt sich leicht an die Gefahr und stumpft sich dagegen ab. Ein gewisses Quantum von Sorglosigkeit ist dem Gebirgsbewohner notwendig, aber zu viel ist schlimm. Als an sicherer Stelle Neufelsberg gebaut worden und die Bewohner den bedrohten Ort verlassen und dort einziehen mußten, kehrten sie trotz der Gefahr sehr bald in das liebe alte Nest zurück. Die Elmer kennen genau die Gefahr, in welcher der noch erhaltene Teil des Ortes steht; aber zwischen dieser Erkenntnis und dem Ausziehen besteht für sie kein Zusammenhang, das erstere ist Verstandessache, das letztere Gemütssache. Lieber unter Gefahr auf eignem Boden, im eignen Hause wohnen, als fremd und von der Heimat ausgestoßen sichere Unterkunft suchen.“

Viel leichter als feste Felspartien kommen natürlich lose Schutt- und Geröllmassen in Bewegung; aber der Natur der Sache nach treten hier nicht so plötzlich riesige Massenstürze ein, in der Regel findet ein allmähliches Gleiten statt, das allerdings oft in unaufhaltsamem Fortschreiten Gebäude zum Einsturze bringt, Felder, Wiesen, Wälder verwüstet, aber doch infolge des langsamen Tempos nur selten Menschenleben gefährdet. Besonders lästig werden solche sich verschiebende Schuttmassen für die Eisenbahnen, namentlich im Gebirge, und es ist bekannt, mit welchen Schwierigkeiten die meisten Alpenbahnen in dieser Beziehung zu kämpfen haben. Die losen Massen, durch Einschnitte oder Tunnelanlagen in ihrer Gleichgewichtslage gestört, geraten in gleitende Bewegung, der Bahnkörper wird verschoben, Tunnels zerquetscht, und es bedarf oft langer Zeit und kostspieliger Arbeiten, ehe das Terrain zur Ruhe kommt. Wo Abrutschungen loser Massen stattfinden, geben sie sich in der Regel zuerst dadurch zu erkennen, daß in dem obern Teile des Rutschgebietes sich Spalten bilden, häufig in einem nach oben konvexen Bogen, während am Fuße, im untern Teile, der Boden wulstig aufgeschoben wird. Je nach der Stärke des Schubes gerät die gleitende Masse mehr oder weniger in Unordnung und in wälzende Bewegung, oder einzelne Teile sitzen an den Spalten, meist in keilförmigen Schollen, treppenartig ab.

Abgesehen von der mechanischen Verletzung der Gehänge durch Abgrabung oder Unterwaschung durch fließendes Wasser, ist die häufigste Ursache solcher „Erdschlipfe" in Quellen zu suchen, welche von obenher in das lose Terrain versickern, durch ihre fortwährende Thätigkeit den Zusammenhang lockern und die Böschung ihres Haltes berauben. In erster Linie ist daher bei Untersuchung solcher Rutschterrains, welche bedeutenden Schaden anrichten können, die Aufgabe gestellt, die Wasserverhältnisse kennen zu lernen und Quellstränge oder oberflächliche Wasseradern, die in den Schutt versickern, abzufangen und fortzuleiten.

Auf eigentümliche Gleitungserscheinungen loser Massen, welche z. B. in den jungen Ablagerungen des Wiener Beckens in ausgezeichneter Weise vorkommen, hat namentlich Th. Fuchs hingewiesen. Sehr allgemein findet man, daß Ablagerungen von Thon, Sand, Geröll, die ursprünglich horizontal übereinander abgelagert waren, nun in der verwickeltsten, aber in ganz kleinem Maßstabe auftretenden Weise gefaltet, geknickt, zerrissen und gleichsam ineinander geknetet sind. Dabei ist nicht die geringste Spur einer tektonischen Veränderung im großen, eines Eingreifens gebirgsbildender Kräfte zu bemerken. Die geschilderte Erscheinung zeigt sich vielfach in Thonen, welche in Verbindung mit den Blocklehmablagerungen der diluvialen Eiszeit stehen. Diese Beobachtung wurde anfangs von englischen Geologen gemacht und hat sich späterhin auch in Norddeutschland bestätigt gefunden. An vielen Stellen sieht man die unter dem diluvialen Blocklehme liegenden Ablagerungen verschiedener Art, namentlich die diluvialen „Bänderthone", sonderbar gestaucht und gefaltet (s. obenstehende Abbildung). Die häufig auftretende Verbindung solcher Stauchungen mit den diluvialen Ablagerungen hat zu der Annahme geführt, daß dieselbe durch den Druck der sich vorschiebenden Eismassen erzeugt worden sei. Diese Deutung ist in den Fällen, in welchen die Vergesellschaftung beider Erscheinungen deutlich wahrnehmbar ist, eine ziemlich wahrscheinliche; dagegen ist es unrichtig, jede derartige Stauchung auf Gletscherwirkung zurückzuführen. So hat Penk aus dem bayrischen Gebirge eine Anzahl von Punkten geschildert, an welchen Fältelungen von Thonen ganz unabhängig von glazialen Erscheinungen auftreten, und ich selbst habe in einem Steinbruche bei Völksen am Deister südlich von Hannover eine zwischen zwei Kalkbänken des oberjurassischen Korallenkalkes eingelagerte grünliche Thonschicht beobachtet, welche die ausgezeichnetste Stauchung zeigte, während die Kalke keine derartige Störung erkennen ließen. Ebensowenig stehen die sehr auffallenden Verschiebungen dieser Art im Wiener Becken mit Glazialerscheinungen in Zusammenhang.


Gestauchte Diluvialablagerungen aus den Kiesgruben bei Ronnewitz (nach H. Credner).

Offenbar kann eine Fältelung loser Massen unter sehr verschiedenen äußern Verhältnissen vor sich gehen, wenn ein gelinder Druck oder Schub lange Zeit hindurch gleichmäßig und anhaltend auf dieselben einwirkt, und sehr häufig besteht diese Kraft, wie Fuchs erkannt hat, lediglich in dem eignen Gewichte dieser Ablagerungen, die an Gehängen und Böschungen, kurz überall, wo ein seitliches Ausweichen möglich ist, in eine sehr langsame, fließende und wälzende Bewegung geraten.

Wildbäche.

Bei vielen der bis jetzt besprochenen Erscheinungen fällt der Einwirkung des Wassers nur eine ganz untergeordnete Rolle zu, bei andern dagegen, z. B. bei der Katastrophe von Anguri, war dessen Thätigkeit eine sehr wichtige. Wir werden durch derartige Vorkommnisse zu einer andern Gruppe von Vorgängen hinübergeführt, zu den plötzlich vorbrechenden Wasser- und Schuttströmen im Hochgebirge, den Wildbächen. Wer je die Alpen besucht hat, kennt jene ungeheuern Massen von Geröllen, die ihrer ganzen Lagerung und Beschaffenheit nach in junger Zeit vom Wasser herabgeschwemmt worden sein müssen, ohne daß irgend ein nennenswerter oder überhaupt irgend ein Wasserlauf vorhanden wäre, dem der Transport zugeschrieben werden könnte. Von Seitenschluchten aus, die unter normalen Verhältnissen fast trocken liegen, sieht man sich riesige Schuttkegel in das Hauptthal hinausbauen, und der Unerfahrene, der mit der plötzlich ausbrechenden Wut der Alpenwasser nicht vertraut ist, sieht sich staunend nach der bewegenden Kraft für diese Schuttmassen um. Er braucht aber nur ein Hochgewitter im Bereiche dieser Runsen erlebt zu haben, um die Erklärung zu finden. Von allen Seiten rauschen die Wasser gegen den Boden der Schlucht, und hier, wo vor einer halben Stunde volle Trockenheit herrschte oder nur ein unbedeutendes Bächlein rieselte, tost nun ein wütender Bergstrom herab, dickschlammiges Wasser führend, welches massenhafte Gerölle, Steine, Felsblöcke zusammen mit entwurzelten Bäumen in die Tiefe wälzt. Eine ähnliche Wirkung bringt eine rasche Schneeschmelze, namentlich infolge einfallenden Föhnsturmes, mit sich, und unter Umständen sind die Mengen der festen Teile, welche mitgeführt werden, so groß, daß man es nicht mehr mit einem rasch sich bewegenden Wasser, sondern mit einer unaufhaltsam sich vorschiebenden dickbreiigen Schlamm- und Schuttmasse zu thun hat, die sich dann, wo geringeres Gefälle eintritt, in beträchtlicher Dicke ablagert. Wohl jedem Alpenwanderer, der viel herumstreift, ist es schon widerfahren, daß er von einem solchen Ergusse in seinem Wege gehindert war und ratlos nach einer Möglichkeit umherblickte, ihn zu überschreiten. Es sind das die vielgefürchteten Muren oder Murbrüche, in der Schweiz Ruffi genannt, welche in schwächerer Entwickelung als häufige Begleiter heftiger Gewitter auftreten. Unter ungünstigen Verhältnissen erreichen sie aber so riesenhafte Dimensionen, daß viele Strecken fruchtbaren Landes und ganze Dörfer mit Schutt überdeckt, „vermurt", und große Flüsse durch die aus Seitenthälern hervorbrechenden Massen abgedämmt und gestaut werden.

Die Bedingungen für die Entstehung der Murbrüche sind sehr einfach: stark geneigter Boden, dessen Beschaffenheit ein sehr rasches Abfließen des Wassers begünstigt, und das Vorhandensein großer loser Massen, zu deren langsamer und geregelter Wegschaffung die vorhandenen Wasserläufe bei normaler Stärke nicht ausreichen, das sind die Verhältnisse, unter welchen ein Thalsystem zum „Murgange" wird. Wo die losen Massen fehlen, da wird zwar unter Umständen nach Regengüssen ein plötzliches sehr starkes Anschwellen der Wasser stattfinden, aber es wird dieses Wasser nicht die enormen Schuttmengen mitbringen. Anderseits werden die erwähnten Folgen auch bei starker Neigung des Bodens und trotz mächtiger Massen losen Materiales nicht eintreten, wenn die Verhältnisse dem augenblicklichen Ablaufe des Wassers nicht günstig sind, vor allem, wenn reicher Waldwuchs demselben hindernd entgegentritt.

In den Alpen tritt besonders ein Umstand hinzu, um den Murgängen reichliches Material zuzuführen: in den meisten Thälern sind die Gehänge der Berge mit außerordentlich mächtigen Massen von Schutt aus der Eiszeit bedeckt, und bald ist es direkt das Moränenmaterial jener Zeit, bald durch Umschwemmung desselben erzeugte Ablagerungen von Thonen, Sanden und Geröllen, Bildungen von sehr geringem Zusammenhange und Widerstandskraft, welche von den Hochwassern leicht aufgewühlt werden.

Man kann im Thallaufe der „murenden“ Wildbäche drei Abteilungen unterscheiden. Zu oberst an den Gehängen breitet sich das Sammelbecken oder der **Trichter** aus, meist eine kesselartige Erweiterung des hintern Thalgrundes, von einer Menge untergeordneter Rinnen durchzogen, welche alle auf die äußere Felsumrandung des Sammelbeckens zulaufen, bis sie sich endlich sämtlich in eine einzige tief eingerissene Schlucht, den Abzugskanal, „Tobel“ oder „Hals“, des Wildbaches vereinigen. Das Sammelbecken liegt immer unterhalb der Schneegrenze und oberhalb der Waldgrenze. Wo nicht entforstet ist, bleibt also ein engerer Raum für die Geburtsstätte der tosenden Wasserstürze; wo dagegen die Berge des schützenden Baumwuchses entkleidet sind, kann sich das Wasser sehr weit ausdehnen, und um so größer und gefährlicher werden die Fluten. Der Abzugskanal oder **Tobel**, der zweite Abschnitt des Wildbaches, ist eine verhältnismäßig enge, oft sehr tief eingerissene Schlucht. Wo sie in eine Thalweitung endet, da wird der Schutt der Mure abgelagert; er breitet sich in einem flachen Kegel, dem **Schutt-** oder **Schwemmkegel**, aus, welcher den dritten Abschnitt des Wildbaches bildet.

„Nach ausgiebigem atmosphärischen Niederschlage oder bei plötzlichem Abfließen von Schmelzwasser wird binnen kürzester Zeit das Schuttmaterial des Sammelbeckens vollständig durchtränkt und aufgeweicht; es wird dadurch viel schwerer, als es früher war, und kommt ins Gleiten und Rutschen. Ein dicker Brei, ein teigartiges Gemenge von etwa ²/₃ Schlamm, Schutt und Felsentrümmern und ¹/₃ Wasser, wälzt sich aus dem Sammelbecken durch den engen Tobel hinab und ergießt sich über die Niederungen. Mit Einem Ergusse ist es selten abgethan; meistens folgen in kurzen Zwischenräumen mehrere kräftige Nachschübe, hervorgerufen durch Stauungen des lavaähnlichen Schlammbreies, wie sie in dem Tobel leicht entstehen können. Während der Wildbach in dem Sammelbecken vorzugsweise aufwühlt und herabschleppt, stößt er bei Passierung des Tobels große Löcher in dem Bette aus; diese Auskolkungen sind jedoch weniger gefährlich als die einseitigen Unterwaschungen der Tobelwände, infolge deren jederzeit die großartigsten Abrutschungen und Einstürze erfolgen können. Der Tobel, welcher bereits inmitten der Waldregion liegt und oft zwischen turmhohen Mauern von Glazialschutt eingeschnitten ist, wird dann durch herabstürzende oder von oben mitgebrachte Baumstämme, durch Wurzelwerk und riesige Felsblöcke förmlich verstopft. Diese Abdämmung der engen Schlucht dauert so lange an, bis die aus dem Sammelbecken sich unaufhörlich herabwälzenden Schlamm- und Wasserwogen die Sperre durchbrechen können. Mit um so größerer Wucht sausen jetzt die haushohen Schlammfluten unter polterndem Getöse durch die Enge des Tobels hinunter in die Thalweitung. Der Boden zittert, Fenster klirren wie bei einem Erdbeben, Funken sprühen von den aufeinander prallenden Felstrümmern empor, ringsum verbreitet sich ein brenzliger Geruch. Endlich gelangt die Masse, fächerförmig sich ausbreitend, zur Ablagerung. Unter dem cyklopischen Haufwerke des Schwemmkegels verschwindet alles, was im Wege liegt; kaum ragen von den stattlichen Häusern die Schornsteine heraus. Weithin bezeichnet den Lauf des Wildbaches ein trostloses Bild der Zerstörung.“ (G. A. Koch.)

Dies ist der Verlauf eines Murbruches der gefährlichsten Art. Besonders bedenklich werden seine Folgen, wenn der Wildbach in ein größeres Thal mündet und hier das Bett des Flusses abdämmt. Bisweilen sind die Massen so groß, daß der Fluß sie nicht zu bewältigen vermag. Er wird dann zum See aufgestaut, dessen Wasser die Felder verwüsten und die Wohnungen der Menschen bedrohen. Manchmal entsteht so ein bleibender See, wie das in mehreren Fällen in den Alpen geschehen ist; weit häufiger aber durchbricht der Fluß im Laufe der Zeit die aufgeworfene Barre, und der See läuft wieder ab. Glücklich, wenn das langsam und allmählich geschieht; wenn aber der Damm plötzlich zerrissen wird, dann stürzt die angesammelte Wassermasse, alles vor sich zerstörend, thalabwärts.

Kann schon eine einzelne Mure so fürchterliche Folgen mit sich bringen, so begreift man das ungeheure Maß der Verwüstung, wenn nicht nur infolge eines lokalen Gewitters ein oder der andre Wildbach in Thätigkeit tritt, sondern infolge abnormer meteorologischer Vorgänge in kurzer Zeit über ein großes Gebiet außerordentliche Regenmengen fallen. Von allen Seiten brechen aus den Schluchten und Thälern die Schlamm- und Wasserfluten hervor, die Flüsse der Hauptthäler selbst schwellen dann enorm an, überschwemmen, unterwaschen ihre Ufer und überschütten weite Flächen fruchtbaren Landes mit sterilem Schutte (s. untenstehende Abbildung). Solche Verhältnisse waren es, welche z. B. im Herbste 1882



Durch das Hochwasser des Wielenbaches 1882 im Pusterthale angerichtete Verwüstungen (nach v. Seckendorf).

die furchtbare Katastrophe über Südtirol, Kärnten und die venezianischen Alpengebiete herbeiführten. Das ganze Wassergebiet der Drau, der Gail, der Rienz, des Eisack, der Etsch, der Sarca, Brenta und Boite wurde verwüstet; in Kärnten und Tirol kamen 53 Menschen in den Schlammfluten um, und der Schade an vernichteten Werten wird auf 25 Millionen Gulden angeschlagen; auf italienischem Gebiete dürften annähernd ebenso große Verluste zu beklagen sein.

Wir wollen die einzelnen Beschädigungen bei diesen und ähnlichen Katastrophen nicht weiter verfolgen. Wir beklagen die Opfer, welche der entfesselten Naturgewalt zum Opfer fielen, wir bedauern jene, deren Häuser von der Schlammflut zerstört wurden; aber trotzdem können wir uns der Überzeugung nicht verschließen, daß die schlimmsten Folgen, die nachhaltigsten und traurigsten Wirkungen in der Verschüttung der Felder, in der Verwüstung des Bodens liegen, der vor kurzem noch reiche Nahrung bot und nun in eine steinige Schuttwüste verwandelt ist. Hier wirken nicht nur die wildesten Murbrüche, sondern unausgesetzt

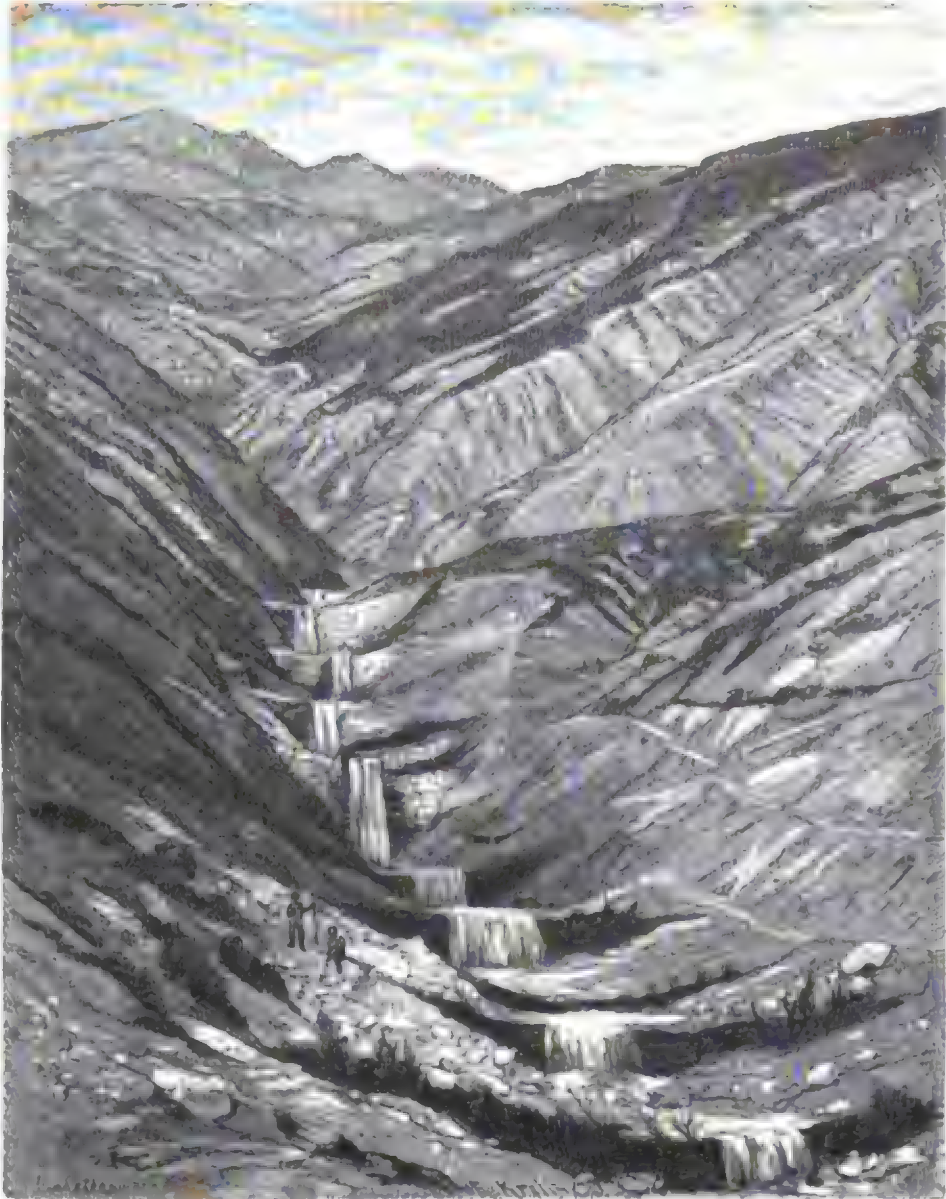
geht der Prozeß vor sich, durch welchen der Schutt aus den Hochregionen herabgeführt und über die fruchtbaren Kulturstrecken der Thäler ausgebreitet wird. Immer mehr greifen die kahlen Schottermassen um sich und engen den Raum ein, dessen Erzeugnisse die Einwohnerschaft ernähren sollen. Die ohnehin im Verhältnisse zur Ertragsfähigkeit des Bodens zum Teile übervölkerten Alpenländer gehen von Jahr zu Jahr an Leistungsfähigkeit zurück. Wer die Gegenden nicht näher kennt, ist in der Regel geneigt, die Bedeutung dieser Übel zu unterschätzen, er ahnt nicht, wie riesige Dimensionen dieselben annehmen. Allerdings sind nicht alle Teile der Alpen in gleicher Weise heimgesucht. Am schlimmsten sind die Verheerungen in dem französischen Teile, in den Departements der Hautes- und Basses-Alpes und der Alpes maritimes; Jahr um Jahr geht die Bevölkerung zurück, und man rechnet, daß die Oberprovence in der Zeit vom 15. bis zum 18. Jahrhundert die Hälfte ihres kulturfähigen Bodens verloren habe. In der kurzen Zeit von 1842 bis 1852 allein soll nach einer allerdings fast nicht glaublichen Angabe ein volles Viertel des Kulturlandes unrettbar verwüstet worden sein.

Man wird sehr natürlich einwenden, wie es denn bei einer so furchtbar energischen Wirksamkeit der Wildbäche komme, daß nicht schon längst alle Thalgründe vermurt sind. In der That waren in früherer Zeit die Verwüstungen bei weitem nicht so groß und gefährlich wie heute, sie haben erst durch die unsinnige Abholzung der Wälder in so gewaltigem Maße zugenommen. Wenn man aber bisweilen hört, die Entwaldung sei die Ursache des Auftretens von Wildbächen und Murbrüchen, so ist diese Angabe nicht buchstäblich zu nehmen. In der Region zwischen dem obern Rande der Wälder und der untern Grenze der Schneefelder können sich immer Sammelbecken ausbilden, und bei den überaus heftigen Regengüssen in den Alpen, die an manchen Punkten schon über 250 mm Wasser in 24 Stunden ergeben haben, ergießen sich Schlammströme. Wolkenbrüche, wie sie im Jahre 1882 in den Südalpen niedergegangen sind, werden unter allen Umständen üble Folgen haben und Felder und Wiesen mit Geröll verschütten; es handelt sich nur um die Größe und um die Häufigkeit dieser Erscheinungen, und hierauf hat unbestritten der Waldwuchs den weitgehendsten Einfluß. Der Wald „bindet" den Boden und hindert die Abschwemmung loser Massen, er vermindert die Verwitterung des unterliegenden Gesteines und hemmt den raschen Abfluß des Wassers, welches in großer Menge aufgesogen wird. So kommt es, daß im Waldgebiete keine Sammelbecken sich ausbilden können. Wird aber der Forst gelichtet, dann erweitern sich die Sammelbecken, und kein Widerstand setzt sich dem Murbruche mehr entgegen, denn die Grasnarbe der Alpenweiden bietet nur einen sehr unvollkommenen Schutz. Aber nicht nur die Waldverwüstung ist in hohem Grade verderblich; oberhalb der Region der Hochstämme sind die Abhänge von dem oft undurchdringlich verflochtenen, zähen Gestrüppe der Legföhren bewachsen, oder die buschigen Polster der Alpenrosen und Vaccinien überziehen die Böschungen und bieten treffliche Abwehr gegen wild abstürzende Wasserfluten. Es ist ganz überraschend, welch außerordentliche Mengen von Flüssigkeit namentlich die zwischen den Alpenrosen üppig wuchernden Moosrasen aufsaugen. Allein auch dieser Vegetationsform ist der Krieg erklärt, sie muß fallen, um eine Ausdehnung der Alpenweiden zu ermöglichen, und damit ist weiterer Raum für die Murbildung gewonnen.

Das drohende Überhandnehmen und die verderbliche Ausbreitung der Wildbäche müssen unbedingt dieser Ursache, der leichtfertigen Vernichtung der natürlichen Schutzwehren um eines raschen Gewinnes willen, zugeschrieben werden. „Wo der Wald fällt, fangen die Murbrüche an", sagt ein ausgezeichneter Kenner dieser Verhältnisse, und aus allen Teilen der Alpen lassen sich zahllose Beispiele für die Richtigkeit dieses Ausspruches anführen. Die bayrischen Berge, in welchen eine sehr ausgebildete Forstkultur herrscht und der Wald in der sorgsamsten Weise geschont wird, haben nur wenig von Wildbächen zu leiden; in den französischen Alpen, wo die Entholzung am weitesten vorgeschritten ist, haben die Verwüstungen

den höchsten Grad erreicht, so daß im Jahre 1853 der Präfekt Bouvilles in einem amtlichen Berichte sagen konnte: „Wenn nicht energische Maßregeln getroffen werden, so kann man die Zeit vorhersagen, wo die französischen Alpen eine Wüste sein werden und Frankreich ein Departement weniger zählt".

Schon vor 500 Jahren hatte man die schlimmen Folgen der Waldverwüstung eingesehen; die Benediktinermönche von Embrun im Briançonnais z. B. belegten jeden Forstfrevler mit dem Kirchenbanne. Aber von der Erkenntnis der Ursachen bis zur Ergreifung der als notwendig erkannten Hilfsmittel ist ein weiter Weg, namentlich dann, wenn diese Verzicht auf momentanen Vorteil zu gunsten der Zukunft, Aufopferung des Einzelnen für die Gesamtheit und das Brechen mit hergebrachten Gewohnheiten fordern. Bändigung der Wildbäche durch Thalsperren und Aufforstung der entwaldeten Berge, das sind die beiden Mittel, welche zwar nicht alle Schäden heilen, aber sie doch wesentlich zu mindern im stande sind. Allerdings müssen dieselben streng planmäßig und im größten Maßstabe angewandt werden, wenn sie nützen sollen. Insbesondere ist die Anlage von Thalsperren ein sehr zweischneidiges Mittel, das, in unrichtiger Weise angewandt, nicht nur keine Abhilfe bringt, sondern sogar das Übel noch in hohem Grade steigern kann. Heim sagt ganz richtig: „Eine schlechte Sperre ist schlechter als gar keine". Ist dieselbe an ungünstiger Stelle angelegt oder ungenügend ausgeführt, so wird sie zwar eine Zeitlang die Gewalt kleinerer Fluten brechen; aber bei einer großen Katastrophe wird sie überwältigt und hat dann einfach die Wirkung, eine große und höchst gefährliche Stauung hervorgebracht zu haben, nach deren Überwindung der Wildbach mit verdoppelter Wut hervorbricht.



Verbauung eines Wildbaches in den französischen Alpen durch gemauerte und lebende Thalsperren (nach v. Seckendorf). Vgl. Text, S. 426.

Ragaz wurde im vorigen Jahrhundert durch den Bruch einer Sperre in der Tamina plötzlich 12—15 Fuß hoch überschüttet. Ja, selbst wenn der Bau gut und regelrecht ist, muß es doch immer bedenklich sein, einer einzigen Sperre alles anzuvertrauen, wie das z. B. bei der Verbauung des Fersinathales bei Trient der Fall ist. Die Fersina, einer der gefährlichsten Wildbäche in ganz Tirol, mündet unmittelbar bei Trient von Osten her in das Etschthal und bedroht die Stadt und ihre herrlich fruchtbare Umgebung mit ihren Schuttmassen. Zum Schutze ist im 16. Jahrhundert eine mächtige Thalsperre bei Pontalto im Fersinathale angelegt worden, welche verschiedene Male weiter aufgebaut wurde und jetzt eine Höhe von 35 m hat; aber obwohl sie im Jahre 1883 um 1 m erhöht wurde, liegt der abgelagerte Schutt nur etwa $1^1/_2$ m unter ihrer Krone. In frühern Jahrhunderten ist sie viermal eingestürzt, jedesmal unter großen Verwüstungen der thalabwärts gelegenen Gegenden.

Man hat in neuerer Zeit ein rationelleres Mittel gewählt, das Übel an der Wurzel anzugreifen, das heißt die Wildbäche nicht erst weit unten in ihrem Tobel zu verbauen, sondern die Arbeiten hoch oben im Sammelgebiete zu beginnen. Zwar sind manche verdienstliche Leistungen solcher Art aus früherer Zeit zu nennen, aber in großartigem Maßstabe, in ganz konsequenter Weise und dafür auch mit gutem Erfolge ist man erst in neuerer Zeit in den französischen Alpen und Pyrenäen zu Werke gegangen, und die dortigen Leistungen dienen jetzt als Muster für alle andern Unternehmungen (s. Abbildung, S. 425). Bis in die obersten Teile der Runsen und in alle Verzweigungen werden gemauerte Thalsperren angelegt, welche die Aufgabe haben, das Gefälle des Wassers zu brechen und das Geröll zurückzuhalten, und zwischen denselben werden zahlreiche kleinere, „lebende" Sperren angebracht, indem man quer durch das Bett Stränge von Flechtwerk aus Zweigen zieht, welche wieder ausschlagen und eine Bestockung mit Sträuchern hervorbringen; ebensolche Faschinenlagen werden auch dem Bache entlang an den Gehängen angebracht. Hand in Hand damit muß die Aufforstung des ganzen Gebietes gehen, wobei natürlich eine sehr sorgfältige Auswahl der anzupflanzenden Gewächse nötig ist.

Die furchtbaren Katastrophen des Jahres 1882 haben dazu angeregt, auch in andern Alpenbezirken die Verbauung und Aufforstung energisch in Angriff zu nehmen, und namentlich in Südtirol und Kärnten werden Anstrengungen in dieser Richtung gemacht. Wird das begonnene Werk planmäßig und mit Energie fortgesetzt, so darf man hoffen, daß die Zahl der Murbrüche vermindert, die Verschüttung des Bodens hintangehalten und verlangsamt wird. Die angewandten Maßregeln als ein Universalmittel anzusehen und zu glauben, daß Wildbachschäden ganz aufhören werden, wäre thörichte Träumerei; Wolkenbrüche werden immer verheerende Wirkungen haben, Schutt wird immer zur Tiefe strömen, man kann das Übel nicht heben, aber man kann es vermindern und erträglich machen.

Thalbildung.

Wie für das Auftreten von Wildbächen, so ist ganz allgemein für eine intensive Erosion durch fließendes Wasser das Vorhandensein eines bedeutenden Gefälles erforderlich; nur wo dieses vorhanden ist und das Wasser infolgedessen rasch fließt, ist es im stande, feste Bestandteile nicht nur mit sich zu führen, sondern dieselben auch mit solcher Kraft an dem anstehenden Gesteine zu reiben, daß dieses angegriffen wird. Das mit Sand und Geröllen beladene Wasser schneidet senkrecht in die Unterlage ein, es wirkt nach dem gewöhnlichen Ausdrucke wie eine Säge, deren einzelne Zähne die mitgeschleppten festen Körper bilden. Die Intensität dieses Vorganges ist eine große, so daß unter sehr günstigen Verhältnissen die Austiefung einer Rinne verhältnismäßig schnell vor sich geht. Ein bekanntes Beispiel

hierfür bildet der Fluß Simeto in Sizilien, dessen Lauf im Jahre 1603 durch einen Lavastrom des Ätna abgedämmt worden war, der sich aber seither durch diese Barre ein Bett von 50 bis über 100 Fuß Tiefe und 40 bis 50 Fuß Breite genagt hat. Allerdings ist die Bestimmung des Ausbruchsdatums nicht absolut sicher, aber jedenfalls handelt es sich um einen jungen Lavastrom, der nur unvollkommen mit Vegetation bekleidet ist. Noch weit auffallender sind Berichte aus hydraulischen Goldwerken Kaliforniens, welche Dutton mitteilt. Um das Gold auszuwaschen, welches fein verteilt in mächtigen Geröllmassen vorkommt, werden Bäche aus höher gelegenem Terrain in geschlossenen Leitungen hergeführt, die nun mit außerordentlich hohem Wasserdrucke ankommen. Dieses Wasser läßt man mit voller Gewalt gegen die Geröllmassen anprallen, welche dadurch unterwaschen und umgewühlt werden (s. Abbildung, S. 428); das Gold wird ausgeschlämmt, das Gebiet aber, das auf diese Weise ausgebeutet worden ist, bleibt als ein wüstes Schuttfeld zurück. Das von der hydraulischen Arbeit abfließende Wasser reißt nun Geröll und Sand mit riesiger Gewalt fort und wirkt äußerst heftig erodierend, so daß in manchen Fällen in Jahresfrist eine 10 bis 20 Fuß tiefe Rinne in festen Basalt eingeschnitten wurde. Natürlich dürfen so extreme Fälle nicht als Regel betrachtet werden, aber sie zeigen uns, was die Flußerosion unter ausnahmsweise günstigen Verhältnissen zu leisten vermag. Bei abnehmendem Gefälle wird der Fluß zwar noch im stande sein, zu transportieren, aber nicht, eine Ausnagung vorzunehmen, und bei noch geringerer Neigung vermag er auch nicht mehr die festen Teile weiterzuschaffen, er wird dieselben fallen lassen und eine ablagernde Thätigkeit beginnen.

Eine ungefähre Vorstellung von dem Einflusse des Gefälles und der Schnelligkeit des Wassers wird am besten durch einige Zahlen gegeben. Stevenson teilt folgende Tabelle mit über die Transportfähigkeit des Wassers bei verschiedener Beschleunigung seiner Bewegung:

Weg des Wassers in einer Sekunde	Weg des Wassers in einer Stunde	Transportfähigkeit des Wassers bei der angegebenen Beschleunigung
7,5 Zentimeter	0,27 Kilometer	fängt eben an, den feinsten Schlamm aufzuwühlen
15 „	0,54 „	führt den feinsten Sand
20 „	0,72 „	führt Sandkörner so groß wie Leinsamen
30 „	1,08 „	führt ganz feinen Kies
60 „	2,16 „	führt Gerölle von 1,5 cm Durchmesser am Boden mit
90 „	3,24 „	schwemmt eigroße, eckige Steine am Boden mit.

Den Einfluß des Gefällwinkels zeigen uns unter anderm die Zusammenstellungen von Elie de Beaumont, aus welchen wir sehen, wie außerordentlich geringer Neigung es bedarf, um eine sehr lebhafte Strömung hervorzurufen. Ein Gefälle von 1/2 cm auf das Kilometer oder eine Neigung von 10 Sekunden erzeugt allerdings bloß eine Bewegung des Wassers, die wir nur an der Ortsveränderung schwimmender Körper bemerken; aber schon bei einem Gefälle von 3,5 Minuten oder etwa 10 cm ist die Grenze der Schiffbarkeit erreicht. Bei 30 Minuten Neigung werden Gerölle bis zu Kopfgröße, bei 1 1/2 Grad werden 2 Fuß große Blöcke gerollt, und bei einer Neigung von mehr als 5 Grad hört der Fluß oder Bach auf, eine zusammenhängende Masse zu bilden, er löst sich in einzelne Wasserfälle und kleine Stürze auf.

Wenn man jedoch derartige Angaben und namentlich die Daten über Transportfähigkeit bei einer gewissen Schnelligkeit der Wasserbewegung zum Ausgangspunkte für weitere Folgerungen machen will, so muß man Rücksicht darauf nehmen, daß in einem und demselben Querprofile eines Flusses die Wasserteile an verschiedenen Stellen sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen. Die Reibung des Wassers, namentlich am Grunde und an seinen Ufern, in geringerm Maße aber auch an der Luft, bringt eine Verzögerung hervor; die

Stelle, an welcher das Wasser die größte Geschwindigkeit erreicht, der sogenannte Stromstrich, befindet sich über der größten Wassertiefe etwas unter der Oberfläche und nimmt von da nach dem Grunde wie nach den Rändern und nach dem Spiegel zu gesetzmäßig ab. Da jedoch die Verzögerung durch die Reibung am Boden eine sehr viel größere ist als diejenige durch die Luft, so muß natürlich die stärkste Beschleunigung nicht sehr weit unter der Oberfläche liegen, und sie scheint dieser in sehr breiten und seichten Flüssen so nahe zu sein, daß bei denselben der Nachweis einer anfänglichen Zunahme der Schnelligkeit mit der Tiefe nicht gelingt, sondern vom Spiegel bis zum Grunde eine fortwährende Abnahme stattfindet. Für den Transport fester Teile ist natürlich nicht die Geschwindigkeit im Stromstriche entscheidend, sondern diejenige am Boden des Flusses. denn die schwereren und für



Hydraulische Goldwäsche in Montana, Nordamerika (nach Photographie). Vgl. Text, S. 427.

die Tragkraft schon verhältnismäßig bedeutenden Fragmente werden nicht mehr schwebend erhalten, sondern am Grunde fortgerollt.

Als ein normaler Fluß ist ein solcher zu betrachten, welcher in einem Gebirge entspringt und hier in raschem Laufe einem stark geneigten Bette folgt, dann in ein niedrigeres, in der Regel hügeliges Land eintritt und dasselbe mit verminderter Geschwindigkeit durchschneidet, um endlich träge durch eine Tiefebene bis zu seiner Mündung hinzuschleichen. Ein solcher Fluß wird anfangs im Oberlaufe erodierend und transportierend wirken, im Mittellaufe das Material fortschleppen, ohne jedoch sein Bett mehr auszutiefen, im Unterlaufe endlich Sediment ablagern und sein Bett ständig erhöhen. Dies mag uns ein ungefähres Bild von den drei Hauptstadien geben, welche ein Strom durchläuft; es wäre aber natürlich sehr unrichtig, wenn man das buchstäblich nehmen wollte. Es wäre richtiger, zu sagen, daß im Oberlaufe die Erosion, im Unterlaufe die Ablagerung überwiegt, im Mittellaufe dagegen sich beide das Gleichgewicht halten. Auch der wild dahinstürmende Alpenbach, der in großartigem Maßstabe zerstört und Material zu Thale fördert, wird einen Teil der groben Blöcke und Steine ablagern, wo sich in seinem stark geneigten Laufe eine



DIE NILKATARAKTE BEI ASSUAN.

flachere Thalstufe einschiebt. Viele Flüsse durchschneiden in ihrem Unterlaufe, nachdem sie vorher schon auf längern Strecken abgelagert haben, eine sich quer vorschiebende Gebirgsbarre, es bilden sich hier Stromschnellen und Katarakte, über welche die vorher trägen Wassermassen sich brausend und schäumend ergießen, und es schiebt sich hier plötzlich ein Stück erosiver Thätigkeit ein. So passiert die Donau zwischen Bazias im Banat und Turn-Severin in Rumänien eine bedeutende Gebirgszone in einer Reihe von Katarakten und Stromschnellen, unter welchen diejenigen des Eisernen Thores die bedeutendsten sind; der Nil, Kongo, Zambesi, Niger in Afrika, der Orinoko in Südamerika sind bekannte Beispiele solcher Erscheinungen. (Vgl. die beigeheftete Tafel „Die Nilkatarakte bei Assuan".)

Andre Flüsse und unter ihnen manche sehr bedeutende entspringen überhaupt in gar keinem Gebirge; Donau, Wolga, der Weiße Nil, der Kongo gehören hierher. Endlich bildet die Einschiebung eines Sees in einen Flußlauf eine Episode, welche eine wesentliche Änderung des Verhaltens bedingt; es bleiben in dem See alle festen Teile zurück, und dem Wasser fehlt daher bei seinem Austritte das wesentlichste Werkzeug der Erosion. Derartige Binnenseen sind jedoch nur verhältnismäßig kurz dauernde Erscheinungen in der Geschichte eines Flußthales, sie werden in einer, geologisch gesprochen, kurzen Zeit durch die einmündenden Bäche und Ströme mit Sediment ausgefüllt und bilden dann nur noch flache, oft sumpfige Thalweitungen.

Jedenfalls sehen wir eine Menge von Abweichungen von dem als Regel gedachten Schema des Verlaufes eines Flusses; wir müssen uns stets daran erinnern, daß die Natur hier wie überall eine außerordentliche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bietet und nicht nach einer Schablone arbeitet. Immerhin aber können wir die Dreiteilung: erodierenden Oberlauf, transportierenden Mittellauf und ablagernden Unterlauf, als in den großen Hauptzügen richtig, einer theoretischen Betrachtung der Thalbildung zu Grunde legen. Als das Resultat dieser Dreiteilung können wir ganz allgemein eine Verminderung der Niveau-Unterschiede, eine Ausgleichung des Gefälles, die Herstellung eines sehr gleichmäßig geneigten Thalweges bezeichnen, welcher keinerlei raschen Wechsel im Gefälle besitzt, sondern eine von der Mündung bis zum Ursprunge überaus sanft ansteigende, parabolische Kurve bildet. Bis dieses Ziel erreicht ist, bis der Thalweg „fertig" ist, behält zwar der Mittellauf sein Niveau bei, der Oberlauf aber schneidet sein Bett immer tiefer ein, der Unterlauf erhöht dasselbe durch stete Ablagerung. Wie energisch dieser letztere, häufig unterschätzte Vorgang sich abspielt, zeigen uns jene Fälle, in welchen der Fluß mitten in einer ganz flachen Ebene sich ein wallartig erhabenes Bett erbaut hat. Ein sehr bekanntes Beispiel dieser Art ist der Po, dessen mächtige Geröllufer aus der umgebenden Niederung sich emporbauen, und dessen Spiegel fast 1 m höher liegt als die Straßen von Ferrara.

Das charakteristischste Kennzeichen eines unfertigen Thales ist das Auftreten von Wasserfällen, in welchen sich der Fluß oder Bach über den annähernd senkrechten Absturz einer Terrainstufe herabstürzt, deren gleichmäßige Erosion noch nicht hat vollendet werden können. An diesen Stellen, wo die Wassermasse senkrecht, also mit dem denkbar stärksten Gefälle, herabkommt, findet eine sehr ausgiebige Zerstörung und zwar vorwiegend in der Weise statt, daß am Fuße des Falles durch das Aufprallen der mit Steinen und Sand herabstürzenden Flut die Sohle des Bettes stark zerstört und dabei auch die Basis des Absturzes unterwaschen wird, bis der vorderste Teil desselben einstürzt. Der Wasserfall bleibt daher nicht an einer Stelle, sondern er wird im Verlaufe längerer Zeit immer weiter thalaufwärts verschoben und verliert dabei an Höhe, bis endlich die Niveauverschiedenheit zwischen den beiden Thalstufen ausgeglichen ist.

Ein sehr bekanntes und genau untersuchtes Beispiel dieser Erscheinung ist der Niagarafall, in welchem die gewaltigen vom Erie- zum Ontariosee abfließenden Wassermassen über eine fast 50 m hohe, senkrechte Stufe herabstürzen, die aus horizontal geschichteten Bänken

obersilurischer Ablagerungen besteht. Die Kante des Wasserfalles und der obere Teil der Wand bestehen aus harten Kalken, die tiefern Partien aus sehr viel weichern Schiefern und Sandsteinen, und natürlich können unter diesen Verhältnissen die Unterwaschung und der Einsturz sehr leicht und regelmäßig vor sich gehen. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Fall um ein merkbares Stück zurückgezogen, wonach man den jährlichen Durchschnittsbetrag des Rückganges auf 33 cm schätzt. Thalabwärts zieht sich von dem Falle eine 12 km lange Schlucht mit senkrechten Wänden, welche durch den Wasserfall allmählich ausgenagt worden ist. Man erhält unter der Annahme, daß die Erosion fortwährend mit derselben Kraft gearbeitet habe wie heute, für die Bildung dieser Schlucht einen Zeitraum von 36,000 Jahren, während unter denselben Verhältnissen in weitern 70,000 Jahren der Fall bis an den Ausfluß des Eriesees zurückrücken und eine vollständige Ausgleichung des Niveaus erzielt sein würde. Freilich darf man aus einer derartigen Berechnung keine weitgehenden Schlüsse auf die Dauer geologischer Zeiträume ziehen.

Eine eigentümliche Erscheinung, welche an manchen wasserreichen Fällen beobachtet wird, ist das Auftreten sogenannter Riesentöpfe oder Strudellöcher. Dies sind mehr oder weniger tiefe, senkrecht in festes Gestein, Kalk, Granit rc., oder auch in weichere Massen, Thone, Blocklehm und ähnliche Gebilde, eingetiefte cylindrische Löcher, welche unter Umständen bis zu einer Tiefe von 12 m schachtartig in die festesten Felsen eindringen; die Innenwände sind in der Regel glatt geschliffen und tragen bisweilen Spuren von Spiralfurchen. Diese Vertiefungen sind dadurch entstanden, daß Felsblöcke durch die Bewegung des Wassers von Wasserfällen oder Katarakten in kreisförmig wirbelnder Bewegung erhalten werden; durch die Reibung wird das Bett des Flusses angegriffen, und indem in einer und derselben Höhlung unausgesetzt diese Rotation vor sich geht, wird dieselbe immer mehr vertieft. Man findet auch in der Regel noch die Blöcke, deren Bewegungen dieses Resultat erzielt haben, die „Reibsteine", am Grunde der Töpfe, wenn sie nicht durch die Abnutzung zu Atomen zermalmt worden sind. In dem sehr trocknen Sommer 1857, als der Rhein bei Schaffhausen einen außergewöhnlich niedern Wasserstand hatte, fand man die Felsplatten am Fuße des Rheinfalles mit einer Menge solcher Strudellöcher besetzt. In den Klammen der Salzach bei Golling finden sich ausgezeichnete Beispiele, die sogenannten „Öfen", nicht nur in der Thalsohle im Bette des Flusses, sondern auch in der Höhe; an den Wänden sieht man durch die Erosion auseinander geschnittene Riesentöpfe, von Wasserfällen herrührend, welche dort in der Vorzeit vorhanden waren, als der Fluß noch in einem höhern Niveau als heute seinen Lauf hatte.

Auch sonst findet man oft Riesentöpfe aus früherer Zeit von Wasserläufen, welche nicht mehr existieren; besonders in Skandinavien sind dieselben in großer Zahl vorhanden, aber auch in der norddeutschen Tiefebene kommen sie nicht allzu selten vor. So hat sie z. B. Nöthling von der Oberfläche des Muschelkalkes von Rüdersdorf bei Berlin beschrieben, und Berendt und andre haben solche von verschiedenen andern Lokalitäten Norddeutschlands geschildert. Ein prachtvolles Beispiel bietet der sogenannte Gletschergarten von Luzern, in welchem die rundhöckerige Gesteinsoberfläche eine große Anzahl solcher Kessel enthält (s. Abbildung, S. 431). Diese alten Töpfe sind in späterer Zeit mit Schutt, Sand, Lehm, Gesteinstrümmern ausgefüllt worden, und es ist notwendig, dieselben auszuräumen, um ein Bild von ihrer Beschaffenheit zu erhalten und die an ihrer abgerundeten Form leicht kenntlichen Reibsteine zu finden. Der größte Teil dieser alten Töpfe liegt im ehemaligen Gletscherterrain, und es ist daher der Zusammenhang ihrer Entstehung mit den Schmelzwassern der Gletscher vielfach besprochen worden, eine Frage, auf die wir bei Schilderung der Glazialerscheinungen zurückkommen werden.

Am auffallendsten und mächtigsten treten jedenfalls die Unfertigkeit des Thalweges und die Thätigkeit der Wasser, ihn zu vollenden, im Gebirge da hervor, wo die Erosion in den

Regionen starken Gefälles wirksam ist. Denken wir uns ein gleichmäßig geneigtes Gehänge, von welchem das Wasser abläuft, so wird im obersten Teile desselben die Wirkung eine schwache sein, da das Wasser hier noch in einzelnen sehr schwachen Fäden rinnt und noch wenig Sand und Gerölle fortführen kann, welche vorwiegend auf die Unterlage wirken. Erst in den tiefern Partien des Abhanges, wo die einzelnen Wasseradern sich vereinigen und dadurch konzentrierte Kraft auf einen beschränkten Raum verwenden können, wird die Austiefung eine ergiebigere sein, hier wird die Thalbildung sich in energischer Weise entwickeln. Es wird sich ein Thal in das Gehänge einschneiden, dessen untere Hälfte schwächer, die



Strudellöcher aus dem Gletschergarten in Luzern. Vgl. Text, S. 430.

obere stärker geneigt ist als das Gehänge, und im Laufe der Zeit wird sich das Thal sowohl als die Grenze zwischen dem steilen und dem weniger geneigten Teile mehr und mehr nach aufwärts ziehen, die Thalbildung wird endlich bis zum Kamme der Höhe gelangen und diese erniedrigen. Dabei wird in dem obern stark geneigten Teile des Thales die Erosion ganz vorwiegend in die Tiefe schneiden, in dem weniger geneigten Abschnitte dagegen wirkt dieselbe wesentlich auf die Thalwände; das Thal wird breiter, während in seinem Grunde der gröbste Schutt liegen bleibt, welcher von oben kommt. Der Querschnitt des Thales ist daher in den höhern, in raschem Einschneiden begriffenen Partien annähernd V-förmig, in den untern, sich ausweitenden Strichen dagegen mehr oder weniger breit U-förmig. Allerdings neigen diese typischen Gestalten sehr zur Ausartung, zu extremer Entwickelung, das U wird sehr flach und breit, während da, wo ein kräftiger Wasserlauf mit sehr wenigen Zuflüssen eine bedeutende Niveaudifferenz auszugleichen hat, die Gestalt des V immer schmäler wird zur engen, spaltartigen Schlucht, welche mit fast senkrechten Wänden einschneidet.



Die Lichtensteinklamm bei St Johann im Pongau (nach einer Photographie).

Die „Klammen" der Alpen und alpenähnlichen Gebirge sind die Typen solcher Bildungen, welche am häufigsten im Kalkgebirge, aber auch in Schiefern und Sandsteinen vorkommen (s. obenstehende Abbildung).

Natürlich geht der Prozeß der Thalbildung fast nie in schematischer Regelmäßigkeit vor sich; die Gehänge sind nicht gleichmäßig geneigt und bestehen oft aus ganz ungleichartigem Materiale. Schon durch die einfache Fundamentalerscheinung der Schichtenbildung ist der Zusammenhang des Gesteines nach verschiedenen Richtungen ein verschiedener, Wechsellagerungen heterogener Gesteine von bald weicher, bald harter Beschaffenheit müssen Unregelmäßigkeiten hervorrufen. Dieselben machen sich auch bei horizontaler Lagerung geltend, vor allem aber treten sie in gestörten und aufgerichteten Schichtgebirgen entgegen und bedingen hier sehr wichtige Unterschiede zwischen einzelnen Arten von Thälern. Der naturgemäßeste Lauf für das abfließende Wasser ist derjenige, welcher dem Winkel der stärksten Neigung der Gehänge folgt, also direkt vom Kamme zum Fuße, vom Zentrum zum Außenrande des Gebirges, senkrecht auf das Streichen und die Hauptlängenerstreckung des Gebirges; hier ist die größte Neigung und demgemäß das stärkste Gefälle, das Wasser schneidet daselbst am leichtesten ein. Da nun in der großen Mehrzahl der Gebirge das Streichen der Schichten demjenigen der Kämme parallel geht, mit demselben zusammenfällt, so werden Thäler, welche der genannten Regel folgen, das Streichen der Schichten annähernd rechtwinkelig durchschneiden; man bezeichnet dieselben als Querthäler.

Aber nicht immer schlagen Flüsse und Bäche diesen Weg ein; ist derselbe auch den natürlichen Neigungsverhältnissen gemäß am günstigsten, so müssen doch alle Schichten senkrecht auf ihr Streichen, d. h. in derjenigen Richtung ausgenagt und angeschnitten werden, in welcher sie die größte Widerstandskraft entwickeln. Viel günstigere Verhältnisse bieten die Gesteine der Erosion längs ihrer Streichungsrichtung: hier ist gleichsam in jeder Schichtfuge schon ein natürlicher Angriffspunkt vorgezeichnet, und speziell in Fällen, in welchen eine weichere Partie zwischen härtern eingeschaltet liegt, ist die Thalrinne geradezu vorgebildet. In der That schließen sich viele Wasserläufe der Längserstreckung der Gebirge und der Streichungsrichtung der Schichten an, sie bilden Längsthäler.

Für beide Arten von Entwickelung lassen sich zahllose Beispiele anführen. In den Alpen stellen z. B. das Zillerthal, das Ötzthal, das Reußthal vom Vierwaldstätter See an aufwärts, das Eisackthal, das Etschthal unterhalb Bozen, Judikarien, das Piavethal ausgezeichnete Querthäler dar, während Pusterthal, Gailthal, Pinzgau, Innthal zwischen Landeck und Wörgel, das Wallis ꝛc. Längsthäler sind. Sehr viele Flüsse haben auch gemischte Thäler; so fließt die Salzach von ihrem Ursprunge am Krimler Tauern bis etwas unterhalb Kriml in einem Querthale nach Norden, biegt dann unter einem rechten Winkel in das westöstlich verlaufende Längsthal des Pinzgaues um, dem sie bis St. Johann folgt, dann tritt eine abermalige Umbiegung in das nördlich gerichtete Querthal des Pongaues ein, und diese Richtung wird dann bis zum Austritte aus den Alpen bei Salzburg beibehalten. Ganz ähnliche Verhältnisse sehen wir am Rhein, Inn, an der Enns, Adda, Etsch und einer Menge andrer Flüsse eintreten, ja, oft ist einem Thalwege, der der Hauptsache nach durchaus die Querrichtung einschlägt, plötzlich ein kurzes Stück Längsrichtung eingeschaltet und umgekehrt.

Sehr viel seltener als diese typischen Hauptrichtungen sind die Thäler, welche schräg zum Streichen verlaufen, da eine solche Entwickelung weder durch sehr günstiges Gefälle noch durch geringsten Widerstand der Gesteine gefördert wird. In den Fällen, in welchen man nach der Betrachtung der Karte auf das Vorhandensein eines schrägen Thales schließen möchte, findet man an Ort und Stelle zwar nicht immer, aber doch gewöhnlich, daß ein und derselbe Flußlauf, häufig wechselnd, auf kurze Strecken bald die Längs- und bald die Querrichtung einschlägt. Eine Scheidung in diese Ausbildungsformen ist natürlich da nicht möglich, wo eine Gegend aus horizontalen Schichten zusammengesetzt ist, und läßt sich auch in den seltenen Fällen nicht streng durchführen, in welchen das Streichen der Schichten nicht mit demjenigen der Kämme zusammenfällt, sondern dieselben unter einem spitzen oder

rechten Winkel schneidet, wie das z. B. bei einem großen Teile der Gebirge an der Westküste des Griechischen Archipels der Fall ist. Stehen die Schichten senkrecht zur Richtung des Gebirgskammes, so verlaufen alle Thäler senkrecht zur Längserstreckung des Gebirges; sie sind also in Beziehung auf diese Querthäler, in ihrem Verhältnisse zur Schichtstellung dagegen stellen sie sich als Längsthäler dar.

Abgesehen von solchen ganz allgemeinen Beziehungen, welche in der Unterscheidung in Längs- und Querthäler zum Ausdrucke kommt, müssen natürlich der Verlauf der Flüsse und die Form und Entstehung ihrer Thäler in mannigfaltiger Weise vom Gebirgsbaue abhängig sein. Daß dies der Fall ist, darüber sind wohl alle Geologen und Geographen einig, in welchem Grade aber und in welcher Weise diese Abhängigkeit zu denken ist, darüber gehen die Ansichten sehr weit auseinander. Wir haben in einem frühern Abschnitte (s. S. 316) die ältere Ansicht kennen gelernt, daß alle Gebirge plötzlich mit Einem Rucke aufgetürmt worden seien und dann als fertige Massen dastanden. Wenn man von diesem Gesichtspunkte ausgeht, dann ist es klar, daß die Abhängigkeit des Flußnetzes von dem mit einemmal vollendet hervortretenden Baue des Bergsystemes eine vollständige sein muß; der Hauptkamm muß die Hauptwasserscheide bilden, die einzelnen Flußläufe müssen den starr vorgezeichneten Linien des stärksten Gefälles folgen, wenigstens die größern werden entweder der Richtung von Bruchlinien und Spalten oder von Falten, mögen es nun Synklinalen oder die geborstenen Kämme von Antiklinalen sein, sich vollständig anschmiegen. Jene Ansicht ist jetzt längst aufgegeben, aber trotzdem kann noch immer eine weitgehende Einwirkung des Gebirgsbaues auf die Thalbildung angenommen werden. Weitaus die bedeutsamste Auffassung dieser Art ist diejenige, welche Daubrée auf Grund seiner interessanten Experimentaluntersuchungen geäußert hat; er untersuchte die Sprünge, welche in Platten von Spiegelglas, in Blöcken von Formwachs und andern Körpern durch Drehung und Druck entstehen, und fand, daß deren Richtung zu derjenigen der erzeugenden Kraft bestimmte gesetzmäßige Beziehungen zeigen und Systeme bilden, die sich unter gleichbleibenden Winkeln schneiden. Es gelang ferner der Nachweis, daß manche Gesteine in ihrem Gefüge eine weit ins einzelne gehende Zerklüftung zeigen, welche mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine ähnliche Ursache zurückgeführt werden kann; ja, es ist sogar ganz plausibel, daß gewisse Absonderungs- und Verwitterungsformen, z. B. die quaderförmige Anordnung der Sandsteine in der Sächsischen Schweiz und in Böhmen, auf solche Ursachen zurückzuführen sind. Dagegen muß eine weitgehende Anwendung dieser Erfahrungen auf die Thalbildung wohl als verfehlt bezeichnet werden. Zwar gelingt es bisweilen, die Thalläufe einer Gegend auf wenige bestimmte Richtungen zurückzuführen; aber in der Regel fehlt der direkte Nachweis für das Vorhandensein der Klüfte, deren Existenz nur aus der Ähnlichkeit der Thalrichtungen mit den experimentell hergestellten Sprungnetzen gefolgert wird. Überdies resultieren oft komplizierte Systeme, und die kleinern Verzweigungen entsprechen nicht mehr den Anforderungen der Theorie. Selbst in den Fällen, in welchen sich sehr wenige Richtungen ergeben, darf daraus noch lange nicht ein entsprechendes Kluftsystem abgeleitet werden. In einer einheitlich und einfach gebauten Gegend werden durch die natürlichen Gefällsverhältnisse, durch eine wenn auch nur sehr schwache Neigung der Schichten einzelne Hauptdirektionen für den Abfluß der Wasser bestimmt, und so erklären sich diese Erscheinungen in einfacher Weise ohne Zuhilfenahme eines Spaltensystemes.

Größere Schwierigkeiten bietet die Beurteilung der Verhältnisse in den Kettengebirgen. Hier ist ein bedeutender Einfluß des Gebirgsbaues auf die Richtung des Thales nicht im mindesten zu leugnen, und die Aufgabe der Geologen ist es in diesem Falle, zu bestimmen, wie weit diese Einwirkung geht. Schon der einfache Umstand, daß sich fast nur Längs- und Querthäler finden und nur sehr selten Einschnitte schräg auf die Gebirgsrichtung verlaufen,

beweist, daß die Richtung der Thäler sehr wesentlich durch die Gebirgsbildung beeinflußt ist; auf der andern Seite aber sehen wir z. B. bei den Alpen, daß namentlich die Mehrzahl der größern Thäler einen komplizierten, aus wechselnden Längs- und Querstrecken bestehenden Lauf besitzt, der zwar in seinen einzelnen Stücken entweder senkrecht oder parallel zur Streichungsrichtung verläuft, aber in seiner Gesamtheit diese Richtung schräg schneidet. Die Hauptthäler zeigen also zum großen Teile einen Bau, der nur in seinen Einzelheiten, nicht aber in seiner Grundanlage von dem Gebirgsbaue bedingt ist. Denken wir uns z. B. den Lauf des Inn, der am Fuße des Bernina im Engadin entspringt und nach einem außerordentlich verwickelten Laufe südlich von Rosenheim aus den Alpen austritt, so wird wohl niemand behaupten können, daß dieser fast die ganze Breite der Alpen durchschrägende Lauf eine notwendige Folge des Gebirgsbaues sei.

Wenn wir durch solche Beispiele zu der Annahme geführt werden, daß die Thalsysteme der Kettengebirge zum großen Teile nur in den Einzelheiten ihres Verlaufes, nicht aber in dessen Hauptzügen durch den Gebirgsbau bedingt sind, so müssen wir uns dabei sofort über die unmittelbare Konsequenz einer solchen Annahme klar sein. Ist die Voraussetzung richtig, dann müssen wir auch annehmen, daß die Flußläufe älter sind als die Gebirge, daß sie schon vor dem Stattfinden der Hauptaufrichtung vorhanden waren, während dieser sich erhalten haben, und daß der heutige Verlauf der Thäler das Resultat eines Millionen von Jahren dauernden, höchst verwickelten Kampfes ist zwischen der Erosion, welche den Fluß unverändert in seiner Bahn zu erhalten und alle ihm gegenüberstehenden Hindernisse zu zerstören sucht, und der gebirgsbildenden Kraft, welche den Lauf der Wasser in eine ihren Linien entsprechende Richtung zu zwingen strebt. Eine solche Anschauung, wie sie neuerdings namentlich von Rütimeyer, Heim und Tietze in Europa sowie von Powell und einigen andern Forschern in Amerika vertreten wird, widerspricht zwar vielen hergebrachten und fast unausrottbar eingewurzelten Ansichten, aber bei genauer Betrachtung muß deren Richtigkeit unbedingt zugegeben werden, sobald man sich nicht auf den Standpunkt stellen will, daß die Gebirge plötzlich und mit einemmal aufgerichtet worden sind. Wenn man zugibt, daß die Aufrichtung langsam erfolgt ist, muß die Erosion von den ersten Anfängen eines Gebirges an fortwährend an den sich aufstauenden Ketten genagt haben. Nur wenn ein entstehendes Kettengebirge vom Meeresgrunde sich aufrichten würde, dann müßten alle Thäler genau den tektonischen Linien folgen, weil dann noch keine Wasserläufe vorgezeichnet sind, sondern in dem Maße, wie das Gebirge sich über Wasser erhebt, ein ganz neues System von Drainierungslinien eingeschnitten werden muß.

Etwas andres ist es, wenn auf festem Lande die Aufstauung eines Gebirges stattfindet; dann muß natürlich die ganze Oberfläche schon ihr Thalsystem besitzen, in welchem die Niederschläge ablaufen und bei dieser Gelegenheit erodierend wirken. Erfolgt nun im Thalwege eines kräftig fließenden, wasserreichen Flusses eine Aufrichtung in langsamem Tempo, so wird derselbe im stande sein, die in seinem Bette sich ihm entgegenstellenden Massen zu zerstören und auszunagen; während ringsumher hohe Berge sich auftürmen, wird der Wasserlauf annähernd in dem alten Niveau bleiben und zwischen den sich bildenden Ketten ein tiefes Thal aussägen. Schwächere Wasserläufe dagegen werden von der Gebirgsbildung überwältigt und entweder in ein dem tektonischen Baue entsprechendes Gefälle gezwungen, oder vorübergehend zu Seen aufgestaut. Man wird aber eingestehen müssen, daß eine solche Art der Beweisführung, so plausibel und überzeugend sie erscheinen mag, doch auf rein theoretischer Basis aufgebaut ist und einen sehr verwundbaren Punkt enthält, die Annahme nämlich, daß in vielen Fällen die Wirkung der Gebirgsbildung durch die Erosion überwunden werden kann, nicht nur im Laufe sehr langer Zeiträume nach der Aufrichtung, sondern daß die Abtragung mit dieser vollständig gleichen Schritt zu halten vermag. Wir werden

daher zeigen müssen, daß die Verhältnisse vieler Thäler mit der hier besprochenen Auffassung im Einklange stehen, jeder andern Erklärung dagegen unüberwindliche Hindernisse entgegensetzen. Vor allem sind in dieser Beziehung jene Flußläufe von Wichtigkeit, welche Gebirgsketten durchbrechen, und von denen daher anzunehmen ist, daß sie schon vor der Aufrichtung dieser Ketten vorhanden waren und während derselben ihren Lauf behauptet haben. Dieser Gegenstand ist namentlich von Tietze eingehend behandelt worden, dessen Darstellung wir hier in vielen Punkten folgen werden.

Beispiele solcher Durchbrüche finden sich in den verschiedensten Gebirgen: in den Karpaten entspringt der Poprad auf der Südseite der Hohen Tatra in einem verhältnismäßig flachen Terrain und wendet sich, statt sich mit der nur durch eine niedere Wasserscheide getrennten Waag zu vereinigen, gegen die nördlich gelegenen Ketten der Karpaten, die er in einem höchst komplizierten und stark gewundenen Thale durchbricht. Schyl und Aluta entspringen im Innern des siebenbürgischen Beckens, sie vereinigen sich aber nicht mit dem Hauptflusse dieses Kessels, der Maros, sondern durchbrechen den hohen südlichen Grenzwall, um in die rumänische Niederung und durch dieselbe in die Donau zu gelangen. In ähnlicher Weise durchschneidet in Bulgarien der Isker die Mauer des Balkans in einem Systeme tief eingerissener Schluchten. In Thessalien drängt sich der Peneus oder Salamoria durch die prachtvolle Tempeschlucht zwischen den gewaltigen Bergriesen des Ossa und Olymp, während in der Richtung gegen den Golf von Volo nur eine ganz niedere Terrainwelle zu überschreiten wäre. Aus Persien nennt Tietze eine Anzahl von Flüssen, welche die gewaltigen Ketten des Elburz in tiefen Thälern durchschneiden; in Indien entspringen Indus, Setledsch und Brahmaputra in dem tibetanischen Hochthale zwischen Himalaja- und Karakorumkette und durchbrechen dann das höchste Gebirge der Erde in Querthälern, die an Großartigkeit und Tiefe der Schluchten unübertroffen sind. In Nordamerika werden unter anderm die Alleghanies durch die Thäler des Delaware, des Potomac und des Susquehannah, das Uintagebirge vom Green River, Sierra Nevada und Kaskadengebirge vom Sacramento- und Columbiaflusse durchsetzt. Zu diesen wenigen Beispielen ließen sich noch viele andre hinzufügen, doch werden schon diese hinreichen, um zu beweisen, daß solche Durchbrüche durch Kettengebirge durchaus keine sehr seltene Erscheinung darstellen.

Um solche Vorkommnisse zu erklären ohne die Annahme, daß die Flußläufe älter seien als die Gebirge, kann man verschiedene Voraussetzungen machen. Man könnte etwa annehmen, daß die Gewässer so lange zu Seen gestaut waren, bis ihre Abflüsse sich tiefe Betten ausnagten; allein dann müßten diese an der tiefsten Stelle der Bergumwallung liegen, was, wie wir gesehen haben, nicht der Fall ist. Es müßte der Poprad in die Waag, der Schyl und Aluta in die Maros, der Isker in die Maritza münden, der Peneus sich bei Volo ins Meer ergießen &c. Man hat daher allgemein zu der andern Erklärung gegriffen, daß sowohl diese Durchbrüche als überhaupt die meisten Querthäler der Kettengebirge große, klaffende Verwerfungsspalten seien, welche bei der Aufrichtung der Gebirge und durch diese gebildet worden sein sollen. Vielfach spricht man ohne weiteres von Spaltenthälern, ohne daß jedoch die Spaltennatur derselben irgend nachgewiesen wäre; ja, man kann sagen, daß auf der ganzen Erde keine große, klaffende Verwerfungsspalte nachgewiesen ist, welche im stande wäre, einen einigermaßen bedeutendern Flußlauf aufzunehmen und auf weitere Erstreckung ihm den Weg vorzuzeichnen. Obgleich die Vertreter der Spaltentheorie glauben ein, allerdings nur ein einziges, Beispiel aufgefunden zu haben, in welchem dies deutlich der Fall ist, nämlich bei dem Laufe des Jordans auf der vielbesprochenen Jordanspalte, ist doch selbst dieser Fall durchaus nicht dazu angethan, als Beweis zu dienen, da es sich hier überhaupt um gar keine einfache Spalte handelt. Es liegt hier eine außerordentlich tiefe Einsenkung des festen Landes vor, die tiefste, welche auf der Erde überhaupt existiert; der

Spiegel des Toten Meeres liegt 392 m tiefer als derjenige des Mittelmeeres, und wir haben es hier durchaus nicht mit einem großen, von allen Seiten allmählich gegen das Zentrum sich vertiefenden Becken zu thun. Das Tote Meer mit seinen Fortsetzungen, dem Jordanthale gegen Norden und dem gegen das Rote Meer im Süden hinziehenden Wadi el Jeb, bildet eine langgestreckte, thalartige Einsenkung zwischen dem jüdisch-sinaitischen und dem arabischen Plateau, das sich weiterhin nach Norden in dem echten Längsthale zwischen Libanon und Antilibanon fortsetzt. Wird dadurch die Einsenkung des Toten Meeres nicht als ein Produkt der Erosion, sondern tektonischer Vorgänge erwiesen, so schließt doch auf der andern Seite schon die Breite derselben, welche 20 km beträgt, die Idee an eine einfache Spaltenbildung aus. In der That haben wir es nach den Untersuchungen von Fraas und Lartet mit einem Systeme paralleler Spalten zu thun, zwischen welchen ein Streifen Landes in die Tiefe gesunken ist, mit einer sogenannten Grabenversenkung, welche tiefer liegt als ihre Umgebung, und in welche dann naturgemäß das Wasser von den höher gelegenen Rändern abläuft. Diese Erscheinung kehrt mehrfach wieder; das Leinethal bei Göttingen z. B. bietet in verkleinertem Maßstabe ganz dieselben Verhältnisse dar wie die Versenkung des Toten Meeres, nur mit dem Unterschiede, daß hier ein Abfluß nach der Nordsee vorhanden ist. Daß das Jordanthal als ein Spaltenthal gedeutet und angeführt wurde, beruht auf einem durch falschen Sprachgebrauch vieler Geologen verursachten Mißverständnisse, indem langgestreckte, tiefe Grabenversenkungen wie die des Toten Meeres und des Roten Meeres häufig ungenauerweise kurzweg als Spalten bezeichnet werden. So ist also der Halt, welchen die Spaltentheorie an dem Jordanthale zu finden glaubte, hinfällig.

Sehen wir uns etwas weiter um, so finden wir, daß ziemlich alles gegen diese Annahme spricht. Wenn man allerdings Gebirgsprofile sieht, wie sie gewöhnlich gezeichnet werden, d. h. in stark überhöhtem und verzerrtem Maßstabe, dann kann man wohl daran denken, daß diese Thäler Spalten seien; aber sowie man ein solches Thal dann im richtigen Verhältnisse von Höhe und Breite zeichnet, fällt in der Regel jede Ähnlichkeit mit einer Spalte weg. Gerade bei denjenigen, welche vermöge ihrer Tiefe und Schmalheit an eine solche erinnern, bei welchen sehr steil einfallende Wände einander sehr nahe gerückt sind, gelingt es in der Regel mit Leichtigkeit, nachzuweisen, daß die einzelnen Schichten auf beiden Thalseiten sich genau entsprechen, daß von Verwerfung und Verschiebung, welche bei einer Spalte unbedingt vorhanden sein müßten, keine Spur zu sehen ist. Das gilt gerade von den engen Schluchten und Klammen, z. B. von der berühmten Taminaschlucht bei Pfäfers in der Schweiz, und als unwiderleglichen Beweis, daß dieselben nur durch Erosion, nicht durch Zerreißung bei der Gebirgsbildung entstanden sind, sieht man oft genug in bedeutender Höhe über dem jetzigen Wasserstande alte Strudellöcher oder Riesenkessel an den Wänden bis zu einer Höhe von 100, ja 200 m über der heutigen Thalsohle, und ebenso verhält es sich mit den hoch gelegenen Terrassen zu beiden Seiten der Thäler, von welchen bald die Rede sein wird (Heim).

Allerdings gibt es eine Reihe von Fällen, in welchen Verwerfungen mit dem Laufe von Thälern zusammenfallen; aber man darf daraus nicht schließen, daß diese Thäler klaffende Spalten seien. Bisweilen mag das Zusammentreffen ein rein zufälliges sein, häufiger dagegen wird das Verhältnis ein derartiges sein, daß einfach die Verwerfung der Erosion des Wassers einen leichten Angriffspunkt gewährt hat. Wie die Streichungsrichtung der Schichten durch die leichtere Zerstörbarkeit der Gesteine an ihren Schichtfugen Anlaß zur Bildung der Längsthäler geworden ist, ebenso wird ein ablaufender Bach, der auf eine Querverwerfung kommt, an derselben eine Stelle geschwächter Widerstandskraft finden und seinen Lauf in diese Richtung lenken können. Endlich aber ist auch gewiß für viele Fälle die entgegengesetzte Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß nicht die Thäler den Verwerfungen folgen, sondern die Verwerfungen den Thälern. Denken wir im Verlaufe der Gebirgsbildung in

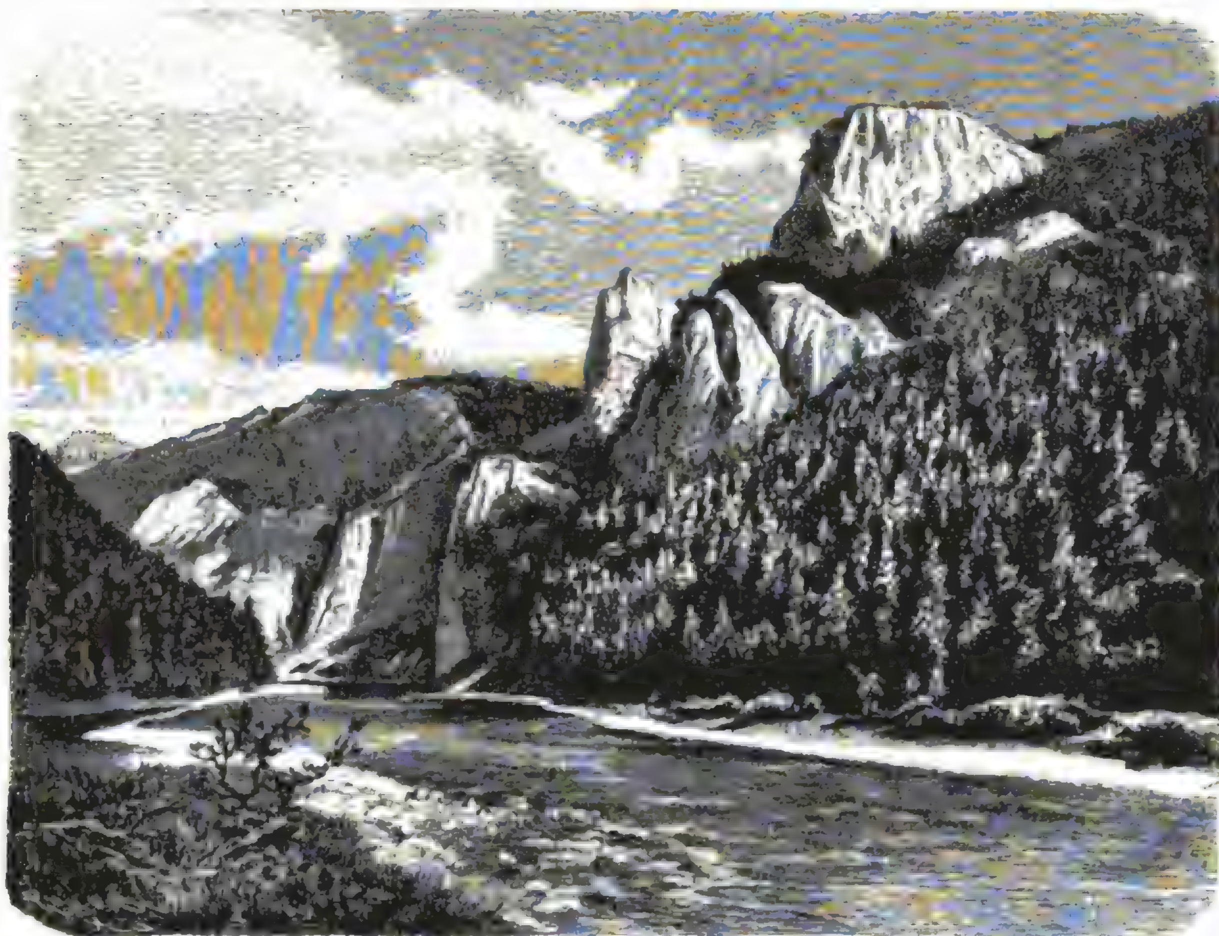
einem Terrainabschnitte eine Spannung vorhanden, die zur Bildung eines Bruches führt, so ist es ganz wahrscheinlich, daß dieser sich gerade an der Stelle bilden wird, wo durch tiefes Einschneiden der Erosion eine Lösung des Zusammenhanges auf eine gewisse Mächtigkeit schon gegeben, wo also geringerer Widerstand vorhanden ist. Alle diese Verhältnisse lassen die Spaltentheorie für die Thäler im allgemeinen als unhaltbar erscheinen.

Wenden wir uns wieder zu den Durchbrüchen von Flüssen durch Gebirgsketten, so finden wir auch hier eine Reihe von Fällen, in welchen das Fehlen jeder Andeutung einer Spaltenbildung aufs bestimmteste behauptet werden kann. So entsprechen sich z. B. beim Durchbruche des Poprad durch die Karpaten und dem des Salamvria im Tempethale die beiden Thalseiten genau; im Tempethale sieht man jeden Marmor- und Schieferzug von einer Seite zur andern hinüberstreichen, und bei dem mäandrisch gewundenen Poprad müßte man ein geradezu unmögliches System von Dutzenden großer und kleiner, in seltsamster Weise sich kreuzender Verwerfungen annehmen. Ebenso hat Toula für den Iskerdurchbruch das Fehlen irgend welcher Störung nachgewiesen, für die Thaldurchbrüche im Elburzgebirge in Persien liegen die lehrreichen Untersuchungen von Tietze vor, welche zu demselben Resultate gelangen, während für einige der großen Himalajathäler die Geologen der indischen Aufnahmsanstalt die gleichen Beobachtungen gemacht haben.

Es ist in neuerer Zeit versucht worden, die Entstehung der Durchbruchsthäler auf eine naturgemäße Weise, ohne die Annahme älterer Flußläufe, durch Erosion ohne Spaltenbildung zu erklären. Wie bekannt, schreitet die Erosion in den Gebirgen nach aufwärts und rückwärts, die Wasserläufe schneiden namentlich im obersten Teile ihre Rinnen immer tiefer ein, und die Wasserscheiden und Gebirgskämme werden auf diese Weise erniedrigt. Wenn nun an einem solchen Kamme auf der einen Seite ein sehr energisch und mit starkem Gefälle arbeitender, auf der andern Seite ein schwächerer Bach oder Fluß erodiert, so wird der erstere mehr Terrain gewinnen, er kann sogar in das Wassergebiet des andern eingreifen und Stücke seines Oberlaufes für sich erobern. Heim hat z. B. gezeigt, daß im obern Engadin der Lauf des Inn mehrfach durch Schuttkegel abgedämmt und zu Seen aufgestaut ist. In dieser Region ist die nach Süden abfließende Maira dem Innthale „in die Flanke gefallen", hat sich durch rückwärts greifende Erosion in die Ränder des Innthales eingeschnitten und das Wasser abgezapft, so daß nun der ehemalige eigentliche Quellteil des Inn als oberste Maira ins Val Bregaglia nach Süden abfließt.

Diese Verhältnisse wurden von Löwel weiter verfolgt, welcher auf die große Bedeutung dieser Vorgänge hinwies und es wahrscheinlich zu machen suchte, daß durch dieselben sehr große Veränderungen der Flußsysteme herbeigeführt werden, und daß sogar die verschiedenen Durchbrüche durch Gebirgsketten lediglich auf diese Weise entstanden seien, indem durch rückwärts greifende Erosion an einer Stelle endlich der ganze Gebirgszug vollständig durchschnitten und das hinter demselben gelegene Flußsystem in so tiefem Niveau angegriffen wurde, daß dieses nun durch den neueröffneten Thalweg sich ergießen konnte und mußte. So bestechend ein solcher Gedanke auch erscheinen mag, so muß er doch entschieden abgelehnt werden. Schon der Umstand, daß dem Wasserlaufe, welcher durch sein Rückwärtsgreifen den Durchbruch erzeugt haben soll, vor Vollendung dieses Werkes keine größere Wassermenge zugeschrieben werden darf als irgend einem andern Gebirgsbache, läßt es unbegreiflich erscheinen, warum gerade einer unter diesen die ganze Kette durchsägen konnte, während seine Kollegen in der Regel keinerlei Anlage zu einem solchen energischen Eingreifen zeigen; dazu kommt aber noch, daß der wichtigste Faktor, das starke Gefälle, welches anfangs vorhanden sein mochte, in dem Maße, wie die Austiefung fortschritt, verloren ging. Ein einzelnes Beispiel mag diese Unmöglichkeit erläutern: die Ausmündung des Tempethales ist etwa 10 km vom Meere entfernt und von diesem nur durch eine ganz

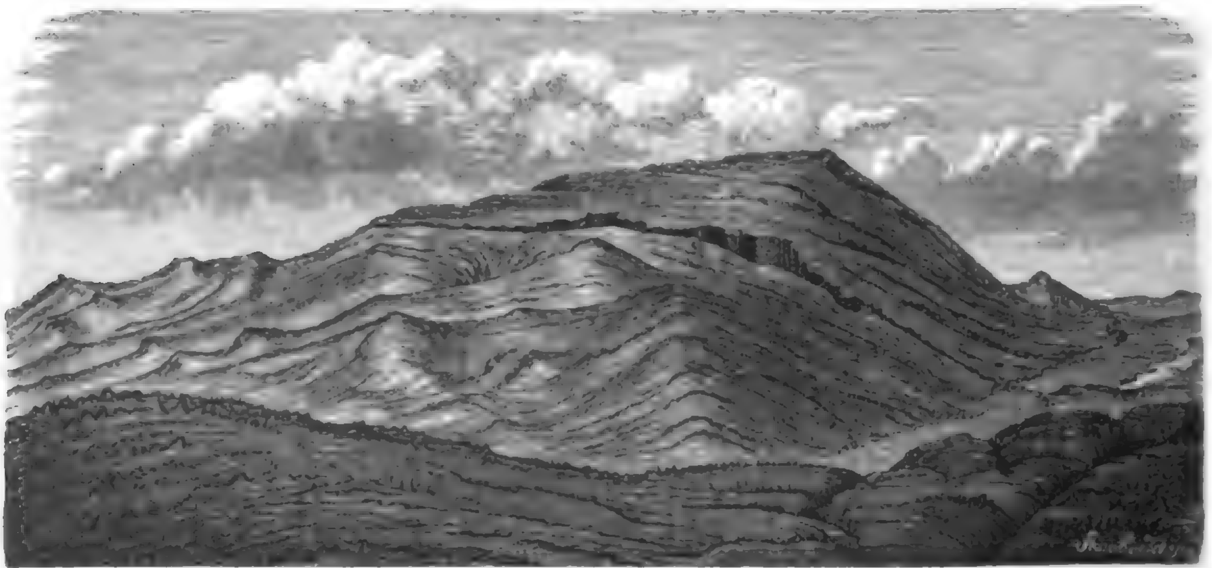
flache Alluvialebene, durch die aufgeschütteten Schlammmassen des Salamvria, getrennt; die Stelle des Durchbruches lag also ursprünglich dicht am Meere, es konnte daher im günstigsten Falle nur ein äußerst unbedeutendes, kleines Wässerchen von den unmittelbar steil ansteigenden Marmorwänden herabsickern. Dieses soll nun im Laufe der Zeit eine etwa 8 km lange Schlucht mit verhältnismäßig sehr geringem Gefälle durch den mächtigen Bergwall des Olymp gesägt haben. Hier liegt es wohl klar auf der Hand, daß an keine Erklärung durch rückwärts schreitende Erosion gedacht werden kann, sondern daß unbedingt der Salamvria sein Bett schon an dieser Stelle gehabt haben muß, ehe der Olymp und der



Durchbruch des Dunajec durch den Penin.

Ossa aufgerichtet wurden. Zu demselben Resultate führt uns auch der Umstand, daß die Durchbrüche bisweilen gerade in den härtesten und widerstandskräftigsten Gesteinen liegen, während unmittelbar daneben viel weicheres Material unter allseits günstigern Bedingungen zu durchschneiden gewesen wäre. Das Tempethal ist in sehr feste Marmormassen eingegraben, welche unmittelbar südlich nicht ganz 3 km entfernt auskeilen, so daß dort nur weiche Schiefergesteine zu überwinden gewesen wären. Der Dunajec in den Karpaten durchbricht beim Roten Kloster südlich von Szczawnitza die sogenannte Südliche Klippenreihe an dem einzigen Punkte, wo aus derselben ein gewaltiger, aus harten Kalken bestehender Berg, der mächtige Penin, hervorragt, während unmittelbar rechts und links nur ganz weiche Sandsteine und Schieferthone vorliegen (s. obenstehende Abbildung). Auch das ist nur möglich, wenn das Bett des Flusses schon vor der Aufrichtung vorhanden war, denn sonst hätte derselbe natürlich den leichtern Weg gewählt. Ein ähnliches Verhältnis zeigt die auf S. 440 abgebildete Schlucht, in welcher der Yampafluß einen mächtigen, aus tertiärem Hügelland aufragenden Kalkberg durchbricht.

Unter diesen Verhältnissen ist wohl die einzig mögliche Folgerung, daß die Thäler der genannten Flüsse älter sind als die Ketten, welche sie durchbrechen, und das muß dann natürlich für die großen Hauptzüge der Thalsysteme überhaupt gelten; daß die Zahl der Durchbrüche und der vom Gebirgsbaue unabhängigen Flußläufe keine größere ist, als man thatsächlich beobachtet, erklärt sich dabei wohl sehr einfach dadurch, daß nur die stärksten, mit kräftigem Gefälle ausgerüsteten Ströme im stande waren, ihre Thäler vollständig zu behaupten; in der Mehrzahl der Fälle dagegen wurde das Wasser überwältigt und in eine dem Gebirgsbaue und den neuentstehenden Neigungsverhältnissen entsprechende Richtung geleitet. Eine Frage, welche noch nie eingehender erwogen worden und darum noch nicht spruchreif ist, besteht darin, wie es sich mit solchen Gebirgsketten verhält, welche, wie Alpen, Apenninen, Pyrenäen, Kaukasus, Anden 2c., von keinem Flusse ganz durchbrochen werden. Haben solche Wasserläufe, welche dieses ganze Gebiet durchquerten, nie existiert, oder waren



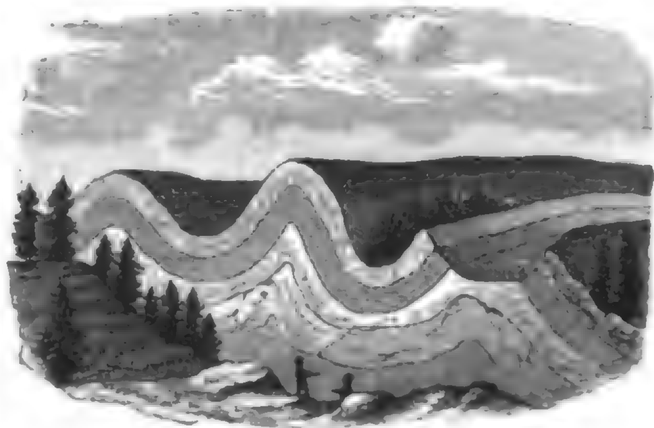
Cañon des Yampaflusses in Colorado, Nordamerika (nach Bechler). Die dunkle, enge Kluft, welche den Berg durchschneidet, nimmt den Fluß auf. Vgl. Text, S. 439.

dieselben vorhanden und sind sie durch die Energie der Aufrichtung abgestaut und in zwei nach entgegengesetzten Seiten gerichtete Flüsse auseinander gerissen worden? Wenn wir z. B. am Brennerpasse von Norden das Wippthal, von Süden das Eisackthal direkt aufeinander zukommen und durch ihr Zusammentreffen eine verhältnismäßig niedrige Einsattelung hervorbringen sehen, so legt dies die Idee nahe, daß hier einst ein Fluß von Norden nach Süden geflossen sei, der dann in der Mitte unterbrochen wurde; doch ist es noch sehr zweifelhaft, ob eine nähere Untersuchung eine solche Annahme rechtfertigen würde.

Wir haben bis jetzt vorwiegend die Beziehungen der Querthäler zum Gebirgsbaue besprochen; etwas anders gestaltet sich die Sache bei den Längsthälern. In manchen derselben sieht man eine vollständige Abhängigkeit von der Richtung der Falten, wie das namentlich bei dem Juragebirge in der Schweiz und im östlichen Frankreich auffallend hervortritt. Die meisten Flüsse folgen im größten Teile ihres Verlaufes den durch die Faltung der Schichten bedingten Ketten, und die Thäler entsprechen sehr oft dem tiefsten Teile synklinaler Falten. Hier liegt der bestimmende Einfluß der Gebirgsbildung auf die Richtung des Flusses klar zu Tage, aber eine Nötigung, deshalb das Gebirge für älter als diesen zu halten, ist nicht vorhanden, eine Verlegung des Wasserlaufes während der Aufrichtung bietet eine vollständig genügende Erklärung. Übrigens ist auch im Juragebirge der Einfluß der Gebirgsbildung auf die Form der Thäler sehr überschätzt worden, namentlich in

denjenigen Fällen, in welchen ein solches Thal mitten in dem Scheitel eines Gewölbes eingetieft ist (s. untenstehende Abbildung). Man hat angenommen, daß hier der Weg für den Fluß durch eine Berstung des Gewölbescheitels vorgezeichnet sei; aber es ist keinerlei zwingende Ursache für das Stattfinden eines solchen gewaltsamen Vorganges einzusehen. Alle Anzeichen sprechen dafür, daß die Zerstörung der Gewölbedecke lediglich der erodierenden Kraft des Wassers zuzuschreiben sei.

In der großen Mehrzahl der Gebirge ist die Längsthalbildung sehr viel unabhängiger von der Tektonik als im Jura. Die Alpen, welche in dieser Hinsicht vielfach studiert worden sind, bieten z. B. ein gänzlich abweichendes Bild. Das „Synklinalthal", bei welchem der Fluß der Mitte einer synklinalen Falte folgt, ist diejenige Form der Längsthäler, welche entschiedene Abhängigkeit vom Gebirgsbaue bekundet, die Synklinale ist gleichsam zum Flußbette prädestiniert, ebenso wie die Antiklinale zur Bergkette; wenn wir aber die größten Längsthäler ins Auge fassen, so sehen wir, daß sie durchaus nicht in der Tiefe von Synklinalen verlaufen. Das Innthal von Landeck bis Schwaz folgt z. B. der Grenze der Kalkzone gegen Grauwacken und kristallinische Schiefer, und dieselbe Lage nehmen auf der Südseite das Pusterthal und Drauthal ein; von einer synklinalen Bildung ist aber in keinem dieser wie der meisten andern Fälle die Rede.


Thalbildung im Juragebirge.

Sehr klar hat Heim diese Verhältnisse für einen Teil der Schweizer Alpen dargelegt: „Wenn wir die Alpen von einem ihrer beherrschenden Gipfel aus betrachten, wo die Schar der Kämme vor uns steht und die Thäler durch die Ketten verdeckt oder in zarten Dunst gehüllt sind, erkennen wir sofort den Kettenbau im großen und ganzen und selbst im einzelnen. Eine gute hypsometrische Karte, auf welcher die höhern Lagen durch hellere, glänzende Töne, die tiefern durch dunklere, schattige Farben bezeichnet werden, läßt ebenfalls den Kettenbau deutlich erkennen. Wenn wir dagegen die Alpen von einem ihrer weniger hohen Punkte betrachten, oder wenn wir eine hypsometrische Karte ansehen, auf welcher die Höhen durch dunkle, matte Farben, die Tiefen durch leuchtendere Töne bezeichnet sind, beherrschen die Thäler das Bild, und der Kettenbau ist dann kaum mehr wahrnehmbar. Thallinien, welche sich gar nicht um die Lage der Ketten zu kümmern scheinen, sind zahlreicher und kräftiger ausgebildet als diejenigen, welche, durch die Ketten bedingt, gehorsam zwischen diesen laufen. Die Flußläufe fragen im großen den Ketten nichts nach. Zeichnen wir in eine Karte die Flußläufe ohne Gebirge, so sehen wir, daß die Flußsysteme wenig von der Anordnung der Gebirgsketten abspiegeln, und daß die verschiedenen Flußsysteme eine überraschende Unabhängigkeit voneinander besitzen. Fast das einzige Allgemeine im Verlaufe der Thäler besteht darin, daß sie sich unter vielen Krümmungen nach der allgemeinen Abdachung des Gebirges wenden, wie dies genau ebenso die Flußsysteme der Plateaugebirge thun. Die allgemeine Gliederung der Oberfläche, schon ohne jede Einzelform, lehrt, daß in der Hauptmasse die Agenzien, welche den Kettenbau erzeugten, von denen, welche die Thalsysteme schufen, ganz verschieden sind; oder noch schärfer ausgedrückt: die Thalsysteme sind nicht durch den Mechanismus der Gebirgsbildung entstanden."

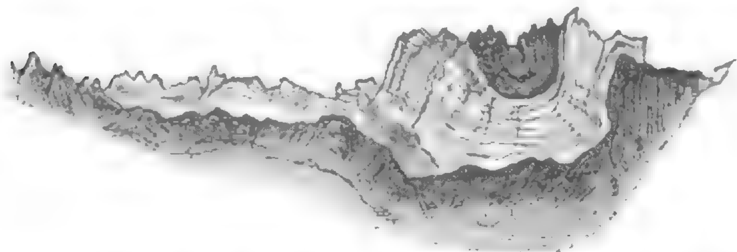
Heim belegt diese Auffassung durch zahlreiche Beispiele; er zeigt, daß eine Menge von Thälern mitten in Schichtensättel eingeschnitten ist, während die Verfolgung dieser letztern

auf weitere Erstreckung erkennen läßt, daß von einer gewaltsamen Zerreißung des Sattels, welche der Thalbildung den Weg vorgezeichnet hätte, nicht die Rede sein kann. In andern Fällen sieht man im Gegenteile, daß Bergketten durch Synklinalfalten gebildet werden; sie sind durch die erodierende Kraft der Wasser zu Bergkämmen gemodelt, während man erwarten sollte, daß im Gegenteile ein Thal in ihre Mitte eingeschnitten hätte.

Solche Beispiele zeigen aufs klarste, daß die Aufrichtung und der Bau der Gebirge zwar einen größern oder kleinern Einfluß auf den Verlauf der Thäler und ganz besonders auf die Einzelheiten ihrer Ausbildung genommen haben, daß aber keineswegs durch diese Vorgänge die ganze Anlage des Thalsystemes in ihren Hauptzügen bedingt ist. Diese stellt sich in der Regel als eine durchaus unabhängige Erscheinung dar, und die **Thalläufe müssen daher in ihren großen Hauptzügen älter sein als die Gebirge.**

Abtragung der Gebirge.

Verfolgen wir diese Ergebnisse über die Beziehungen der Thäler zu den Ketten in ihren Konsequenzen weiter, so gelangen wir zu einer Vorstellung von der **enormen Denudationsarbeit**, welche das Wasser in den Gebirgen leistet. Wenn wir z. B. die Alpen ins Auge fassen, die doch ein verhältnismäßig junges Gebirge sind, da ihre Aufrichtung bis gegen die jüngere Miocänzeit reicht, so sehen wir, daß dieselben schon in ganz gewaltigem Maße abgetragen worden sind und nur noch eine Ruine ihres frühern Bestandes darstellen. Es genügt, auf solche Beispiele wie die drei Zinnen bei Schluderbach in Tirol hinzuweisen (s. S. 13), deren turmartige Gipfelbauten die Erosionsreste einer ursprünglich nach allen Seiten gleichmäßig und horizontal sich ausbreitenden Ablagerung sind. Der gewaltige Zacken des Matterhornes bei Zermatt in der Schweiz ist ein isolierter Pfeiler, der aus einem früher vorhandenen Gewölbe herausgeschnitten ist (s. Abbildung, S. 443). Auf der obersten Spitze der gegen 3000 m hohen Aiguilles Rouges bei Chamounix, dem Massiv des Montblanc gegenüber, liegt eine isolierte kleine Scholle von horizontal gelagerten Schichten des obern Jura, die sich nach keiner Richtung hin fortsetzt, aber offenbar den letzten Erosionsrest einer ursprünglich zusammenhängenden horizontalen Decke darstellt (s. Abbildung, S. 444).


Durch eine Synklinalfalte gebildeter Berggipfel (nach Heim).

Schon solche Fälle, die sich in großer Menge anführen lassen, zeigen uns, daß in den Alpen nicht nur Thäler ausgetieft, sondern daß auch aus den Hochregionen Gesteinsmassen zerstört und weggeführt worden sind, deren Mächtigkeit nach Tausenden von Metern zählt; aber sie geben uns doch nur eine ganz unzulängliche Vorstellung von der ungeheuern Großartigkeit der Denudationserscheinungen, wie sie in Wirklichkeit stattgefunden haben. Um nur von diesen Rechenschaft zu geben, müssen wir an die früher erwähnte Thatsache anknüpfen, daß in vielen Fällen die Gipfel hoher Berge durch die untersten Muldenteile synklinaler Falten gebildet werden (s. obenstehende Abbildung). Es ist also hier nicht nur der Gipfel durch Erosion aus einer ursprünglich in demselben Niveau gelegenen Masse herausgearbeitet, sondern dieselbe Gesteinspartie, welche wir heute eine gewaltige Hochzinne krönen sehen, scheint durch ihren geologischen Bau ursprünglich geradezu zur Sohle eines Synklinalthales bestimmt und war von weit höhern Gewölben umgeben und überragt, die durch Denudation

spurlos verschwunden sind. Unter diesen Umständen können wir mit Heim ganz übereinstimmen, wenn er sagt, daß die jetzige Oberflächengestalt der Alpen vorwiegend ein Werk der Denudation ist, und seine Schätzung bleibt eher hinter der Wahrheit zurück, als daß sie für Übertreibung gehalten werden dürfte, wenn er, zunächst für die Zentralalpen, annimmt, daß das Volumen des jetzigen Gebirges über dem Meeresniveau nur sehr wenig größer ist als das Volumen dessen, was schon durch Abtragung vernichtet ist.

Man darf jedoch nicht denken, daß die Alpen wirklich jemals doppelt so hoch gewesen seien wie heute, daß die durchschnittliche Höhe von Gipfeln, Kämmen und Pässen noch einmal so groß gewesen sei wie jetzt, und daß der Montblanc den Gaurisankar und Kantschindschinga



Das Matterhorn bei Zermatt im Kanton Wallis. Vgl. Text, S. 442.

im Himalaja übertroffen habe. Zwar mögen die Alpen in der Pliocän- und Diluvialzeit nicht unbedeutend an Höhe verloren haben, aber die Denudation hat vom ersten Beginne der Aufrichtung an ununterbrochen gewirkt, die Alpen waren also, wie jedes Gebirge, schon von Anfang an eine Ruine. Die Erfahrungen an den Alpen lassen es auch als gerechtfertigt erscheinen, wenn wir wenig hervorragende Berggruppen mit gerundeten Rücken, aber stark gestörtem Schichtenbaue, deren Aufrichtung in eine weit frühere geologische Periode zurückreicht, wie z. B. das bayrisch-böhmische Grenzgebirge, als die sehr viel stärker denudierten Reste eines alpinen Hochgebirges aus früher Vorzeit betrachten.

Wenn wir ein hochgebirgiges Land mit einer niedrigern Bergregion vergleichen, so fallen sofort in dem erstern die größere Zerrissenheit der Kämme und Gipfel, die schroffere Begrenzung der Thäler, die größere Menge der Schuttmassen auf; kurz, jeder Blick zeigt uns, daß hier die Erosion in ungleich energischerer und kräftigerer Weise wirkt als in flachern Regionen. In erster Linie ist dies durch den Umstand bedingt, daß in den alpinen

Kettengebirgen die Thäler noch unfertig sind, daß ihr Oberlauf noch sehr stark geneigt ist, das Wasser also mit außerordentlicher Energie angreift und dadurch naturgemäß auch für alle andern Denudationsvorgänge eine steile Böschung geschaffen wird. Es gesellt sich dazu aber noch ein zweiter Umstand: durch die stärkere Erhebung erhalten die Hochregionen größere Niederschlagsmengen, sie sind stärkern Temperaturschwankungen und namentlich einem Hauptagens der Verwitterung, häufiger Frostwirkung, ausgesetzt. Diese Agenzien arbeiten alle zusammen, um nicht nur in einfachem Verhältnisse mit der relativen und absoluten Höhe, sondern in noch stärkerm Maße eine Steigerung der Erosion mit zunehmender Erhebung herbeizuführen, welche alles auf ein normales, mit der Entfernung vom Meere gleichmäßig



Der Gipfel der Aiguilles Rouges (nach A. Favre). Vgl. Text, S. 412.

ansteigendes Niveau zu erniedrigen sucht. Was stark über dieses Normalniveau hervorragt, verfällt rascher Zerstörung. Allerdings sind es nicht nur die Höhenverhältnisse, durch welche die Intensität der Erosion der Gesteine bedingt wird, sondern selbstverständlich auch die Widerstandskraft der Felsarten. In derselben Niveaulage, in welcher ein plastischer Thon, ein loser Sand, ein bröckeliger Schiefer rascher Vernichtung anheimfällt, wird ein zäher Quarzit ziemlich wenig berührt werden und, bei steiler Schichtstellung, wie eine kompakte Quarzmasse aus seiner Umgebung hervorragen (s. Abbildungen, S. 445 und 446). Überhaupt fällt es einem einigermaßen geübten Auge nicht schwer, fast in jeder Landschaft die Gesimse, Vorsprünge, Verwitterungsterrassen ꝛc. sofort zu erkennen, welche der geringern Zerstörbarkeit einzelner Felsarten zuzuschreiben sind.

Den Verhältnissen der mit der Höhe zunehmenden Erosionswirkung ist bis jetzt noch sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden, obwohl dieselben bestimmt scheinen, in der Deutung der Oberflächenverhältnisse eine sehr große Rolle zu spielen. In den verwickelt gebauten Kettengebirgen ist es natürlich schwieriger, dieselben zu verfolgen; das Studium



The Devils Slide („Des Teufels Rutschbahn") im Utahgebirge, Nordamerika (nach Clarence King). Vgl. Text, S. 444.

derselben muß an die einfachsten Fälle anknüpfen, wie sie in Plateaulandschaften mit annähernd horizontal gelagerten Schichten auftreten. Ein Beispiel der klarsten Art bieten die jungen Meeresablagerungen der Insel Kos an der kleinasiatischen Küste: sie bestehen aus sehr lockerm Materiale von Sand und vulkanischen Auswurfsprodukten, nur in den obersten Bänken aus harten, widerstandskräftigen Tuffen. Die Lagerung ist fast horizontal, jedoch mit unbedeutendem Ansteigen der Schichten gegen Osten. Im Westen bilden diese Tuffe eine glatte Fläche, die gegen das Meer lediglich dadurch abbricht, daß die unterliegenden weichen Schichten erodiert werden und die darüberliegenden festen Schichten der Unterstützung beraubt sind. Weiter östlich, wo die harten Tuffbänke der Lagerung zufolge in etwas höherm Niveau liegen, hat die Thalbildung in dieselben eingeschnitten und in die noch immer zusammenhängende Tafel Rinnen eingekerbt. Noch weiter nach Osten, bei noch höherer Lage, ist die Decke durch die Erosion zerrissen, nur einzelne Schollen bleiben als die Kuppen höherer Hügel zurück, und endlich gelangt man in eine Gegend, in welcher die harten Tuffschichten, die hier zu hoch über das normale Niveau ansteigen würden, ganz zerstört und die darunterliegenden weichen Ablagerungen ebenfalls in der weitgehendsten Weise erodiert sind, so daß sie ein niederes Wellenland an der Basis der höher gelegenen Platte bilden.



Die „Stipperstones" in England (nach Murchison). Vgl. Text, S. 444.

Ganz ähnliche Verhältnisse, nur in ungleich größerm und infolgedessen schwieriger zu überblickendem Maßstabe, bietet die südwestdeutsche Terrassenlandschaft, besonders das Plateau des schwäbisch-fränkischen Jura mit seinem Steilrande gegen das Unterland. Der große Raum zwischen Schwarzwald und Odenwald im Westen, dem Böhmerwalde im Osten, der Donauhochebene im Süden und dem mitteldeutschen Gebirge im Norden wird von fast horizontalen Ablagerungen des Jura und der Trias gebildet, welche nur ganz leicht gegen Südosten geneigt sind. Wenn man innerhalb dieses Gebietes von Nordwesten nach Südosten vorschreitet, so trifft man der Reihe nach auf den Buntsandstein, den Muschelkalk, Keuper, Lias, mittlern und obern Jura, welche je nach ihrer Verwitterbarkeit und Dicke in deutlichen größern oder kleinern Terrassenstufen oder in flach geböschten Geländen übereinander aufsteigen, wobei die leichte Neigung der Schichten die durch die Überlagerung hervorgebrachten Höhendifferenzen wieder ausgleicht, so daß das Niveau, bis zu welchem jede einzelne Schicht vorkommt, lediglich von den oben geschilderten Bedingungen abhängt. Die festen Massen des Buntsandsteines und des obern Jura, nächstdem der Muschelkalk, bilden bedeutende Höhen, während die leicht zerstörbaren Schichten des Keupers, des Lias und des mittlern Jura flachere Formen haben und ein sanftes Hügelland bilden, innerhalb dessen allerdings feste Sandsteinhorizonte des Keupers, die Kalke des untern, die zähen Schiefer des obern Lias, in Schwaben auch die harten, blauen Kalke in der Mittelregion des mittlern Jura, deutlich hervortretende Terrainstufen bilden.

Die obere Kante des schwäbischen Juraplateaus liegt ungefähr 700 m über dem Meeresspiegel, der mittlere Buntsandstein auf dem Königsstuhle bei Heidelberg in einer Höhe von

etwas weniger als 400 m; denkt man sich nun am letztern Punkte auf den mittlern Buntsandstein noch die obere Partie dieser Stufe, ferner den Muschelkalk, den Keuper und den ganzen Jura mit Ausnahme seiner höchsten Horizonte gelegt, so würde dieselbe Schicht des obern Jura, welche z. B. bei Göppingen in Württemberg bei 700 m ansteht, im Odenwalde bei Heidelberg im Niveau von etwa 1400 m auftreten, und in dieser Höhenlage müßte sie den denudierenden Kräften verhältnismäßig rasch erliegen. Daß keine dieser Stufen, auch die ausgesprochensten unter denselben nicht, auf ursprüngliche Ablagerungsgrenzen, z. B. auf Abstürze eines Barrierenriffes, zurückzuführen sei, braucht nicht ausdrücklich bewiesen zu werden, und ebensowenig können die heutigen Grenzen als die Ufer eines ehemaligen Meeres gedeutet oder durch Annahme von Bruchlinien erklärt werden. Sie sind lediglich durch die Denudation hervorgebracht, und es läßt sich kein schwer wiegender Grund gegen die Annahme anführen, daß alle Ablagerungen mit Einschluß des obern Jura über das ganze Areal ausgebreitet gewesen seien. Die heutige Grenze des Vorkommens ist lediglich durch die verstärkte Wirkung der Erosion in größerer Höhe bedingt.

Die ausgesprochensten und schroffsten Terrainstufen müssen natürlich da hervortreten, wo mächtige Massen sehr harter Gesteine über einer starken Schichtfolge sehr weicher Ablagerungen auftreten, also besonders auf der Grenze zwischen mittlerm und oberm Jura, wo der mächtige Steilrand der Schwäbisch-Fränkischen Alb sich erhebt. Die außerordentlich weichen Gesteine der tiefern Jurahorizonte werden leicht bis zu einem sehr tiefen Niveau herab erodiert, während die folgenden widerstandskräftigen Kalke des obern Jura in dieser Höhenlage der Erosion wenig ausgesetzt sind; ihre Zerstörung erfolgt daher einerseits dadurch, daß sie nach Wegwaschung der weichen Gesteine am Fuße abstürzen, anderseits durch das Einschneiden von Thalrinnen in die Plateauränder. Die Höhe des Steilrandes entspricht aber nicht der gesamten Mächtigkeit des obern Jura, es treten an demselben immer nur tiefere Glieder des letztern auf; der in seinem Niveau sich sehr gleich bleibende Plateaurand ist wieder durch jene Höhenlage gegeben, bis zu der die Kalke des obern Jura verhältnismäßig gut der Zerstörung widerstehen. Hinter dem Rande folgt eine sanft gegen Südosten geneigte Fläche, und an diese schließen sich in weitern Terrassen die höhern Glieder des obern Jura an. Die Höhe des Absturzes am Plateaurande entspricht der Differenz zwischen den Niveaus, bis zu welchen in jener Gegend die weichen Schichten des mittlern Jura einerseits, die harten Kalke des obern Jura anderseits normal anzusteigen vermögen.

In dieser Weise werden die hoch emporragenden Rindenteile der Erde, die Gebirge, in erster Linie von der Zerstörung betroffen, und bei der unermeßlichen Dauer der geologischen Zeiträume verschwinden alle höhern Gebirge; sie werden zu flachem, welligem Hügellande niedergehobelt, und selbst dieses, überhaupt jedes Relief würde aufhören, wenn die Gebirgsbildung nicht an einer andern Stelle neue Ketten emportürmen würde. Den Beweis dafür, daß in der That alle Gebirge in einer, geologisch gesprochen, kurzen Zeit demoliert werden, liefert schon der eine Umstand, daß alle sehr hohen und bedeutenden Ketten, welche ihre Umgebung sehr bedeutend überragen, geologisch jung sind und in später Zeit, in der Regel im Laufe der Tertiärzeit, noch bedeutende Aufrichtungsbewegungen erfahren haben. Das gilt von den Alpen, Apenninen, Karpaten, den Pyrenäen, den alpinen Ketten der Balkanhalbinsel, dem Kaukasus, dem Himalaja, den Anden 2c. Alte Berggruppen dagegen, in welchen seit längern Perioden keine Aufrichtung mehr vorgekommen ist, erreichen keine bedeutende Höhe, obwohl eine solche nach der Stärke der geologischen Störungen erwartet werden sollte. Sie besitzen keinen deutlichen Kettenbau, sondern meist gerundete Formen; es sind die sogenannten „alten Massen“, wie der Böhmerwald, der Schwarzwald, die Vogesen, das Zentralplateau von Frankreich 2c., in welchen wir die Ruinen ehemaliger gewaltiger, hoch aufragender Bergketten erkennen.

Noch in einer andern, durchaus verschiedenen Richtung wird der Umstand, daß die Erosion die höher gelegenen Partien am stärksten angreift, von großer Bedeutung. Wenn eine Meeresbildung durch eine Verschiebung der Strandlinie sich allmählich über den Spiegel des Ozeanes erhebt, so werden natürlich die Strandablagerungen in einem höhern Niveau liegen als diejenigen aus tiefem Wasser, und noch höher werden etwaige Süßwassersedimente derselben Periode liegen. Es werden also die letztern am meisten, die marinen Seichtwasserabsätze etwas weniger, die Tiefseeablagerungen am wenigsten der Zerstörung durch die subaerisch erodierenden Agenzien unterliegen; wir sehen darin einen sehr einfachen Grund, warum wir aus den ältesten Perioden so wenige Seichtwasserbildungen finden. Aber es wirkt noch ein zweiter, nicht minder wichtiger Umstand mit: beim Auftauchen der Sedimente aus dem Meere werden zunächst die Seichtwasserbildungen trocken gelegt und bei dieser Gelegenheit, während sie den Brandungsgürtel passieren, von dem Wellenschlage in ausgiebigster Weise angegriffen. Die entsprechenden Tiefseeablagerungen derselben Periode werden beim Andauern derselben Bewegung erst weit später über dem Meeresspiegel erscheinen, und in der Zwischenzeit werden sich, während das Wasser seichter wird, jüngere Sedimente über denselben abgelagert haben, durch welche sie bei Passierung des vernichtenden Brandungsgürtels geschützt werden.

Cañons.

Merkwürdige Formen der Thalbildung finden wir da, wo ein wasserreicher Fluß ein Tafelland durchfurcht, in welchem es entweder an Regen mangelt, oder das Wasser der Niederschläge infolge der Beschaffenheit des Grundes in die Tiefe versinkt, so daß keine oder nur sehr wenige und schwache Zuflüsse einmünden. Daselbst bilden sich Thäler mit sehr steil abfallenden, hohen, wenig gegliederten Rändern, die unter Umständen bis zu außerordentlicher Tiefe in das Plateau einschneiden. Eine allerdings noch ziemlich schwache Entwickelung dieser Erscheinung zeigen uns einige Flüsse, welche, wie die Donau und die Altmühl, die fränkisch-schwäbische Juratafel durchbrechen. Der Nil in seinem zwischen den erhabenen Flächen der Libyschen und Arabischen Wüste eingefurchten Thale zeigt schon eine Steigerung derselben Erscheinungen, bis ins äußerste Extrem aber finden sie sich entwickelt in jenen seltsamen und über alle Vorstellung großartigen Einschnitten, in welchen einige Flüsse des nordamerikanischen Westens die Tafelländer von Arizona, Utah und Colorado durchbrechen. Diese Cañons, wie die tiefen Schluchten von den spanischen Einwohnern genannt wurden, sind oft Tausende von Fußen in die festen Felsen eingegraben. Vor allen andern zeichnet sich der Lauf des Rio Colorado durch die Plateaulandschaft von Arizona durch Terrainbildungen aus, welche zu den wunderbarsten Erscheinungen der ganzen Erde gerechnet werden müssen. Diese bis vor kurzem schwer zugänglichen Regionen sind von Ives, Newberry und andern untersucht worden, namentlich aber verdanken wir Dutton ein großes Werk über diese Gegenden, welches nicht nur Beschreibungen gibt, sondern auch durch naturwahre Abbildungen eine annähernde Idee von dem Charakter dieser seltsamen Landschaften zu fassen gestattet.

Der Große Cañon des Rio Colorado liegt größtenteils in Arizona und reicht nur gegen Norden etwas nach Utah hinein. Sein Verlauf durchschneidet sehr hoch gelegene, in einigen Terrassen sich aufbauende Tafelländer, die teils vollständig wüst und vegetationslos, teils von reichem Waldwuchse bedeckt sind; ihre Oberfläche ist bald sehr flach, bald wellig geformt, das ganze Gefüge besteht aus nahezu horizontal gelagerten Schichten, welche von dem ältern Tertiär bis ins Silur und selbst bis auf den unter dem Silur liegenden Granit hinabreichen. Das Tertiär, die mesozoischen und permischen Ablagerungen bilden eine Anzahl



DER GRAND CAÑON DES RIO COLORADO (Nordamerika)

mächtiger, in gewaltigen Abstürzen sich aufbauender Terrassen, welche eine weite, schon stellenweise bis zu etwa 3000 m Meereshöhe sich erhebende Fläche von Kohlenkalk der Reihe nach überragen. In die Kohlenkalkdecke ist der eigentliche Cañon eingeschnitten, und alle ältern Ablagerungen kommen nur in dieser ungeheuern, stellenweise gegen 2000 m Tiefe betragenden Thalaushöhlung zum Vorscheine, welche ausschließlich der Erosion ihre Entstehung verdankt.

Am großartigsten ist der Einschnitt in dem sogenannten Kaibab-Plateau, von welchem die Schilderung hier mitgeteilt werden mag, die Dutton von einem Einblicke in diese wilden Schlünde gibt: „Wo immer man sich auf dem Kaibab-Plateau dem Cañon nähert, thut sich mit Einem Schlage der Einblick in seine Tiefen auf; nur selten bemerkt man vorher ein Anzeichen, daß man sich dem Abgrunde nähert, der Wald reicht bis an den Steilrand, und die Fichten lassen ihre Zapfen in die bodenlose Tiefe fallen. In der Regel erreicht man am Rande einer amphitheaterartigen Ausbuchtung den Einschnitt, und die Aussicht ist schon hier über alle Beschreibung großartig, aber sie bleibt weit hinter derjenigen zurück, die sich im Herzen des Cañon aufthut. Einen solchen Einblick gewinnt man von Point Sublime, einem weit vorspringenden Vorgebirge, das wohl vor andern an Größe des Panoramas ausgezeichnet ist (s. die beigeheftete Tafel „Der Grand Cañon des Rio Colorado, Nordamerika").

„Der Große Cañon bereichert unsre moderne Naturanschauung mit einem ganz neuen landschaftlichen Typus und mit neuen Vorstellungen von der Schönheit, Großartigkeit und Gewalt der Naturerscheinungen; aber wie jede Neuerung, braucht auch diese Zeit, um verstanden zu werden, man muß sie studieren und sich an sie gewöhnen, um in ihren Geist einzudringen. Dem Naturfreunde, der seinen Blick in den Alpen, in Italien, Deutschland, den Appalachen ꝛc. gebildet hat, würde der Eintritt in diese merkwürdige Gegend gleichsam einen Stoß versetzen, er würde sich beengt, vielleicht zurückgestoßen und geängstigt fühlen; er sieht nichts von dem, was er als schön und erhaben zu betrachten gewohnt ist, alles muß ihm zwar staunenswert, aber bizarr und unschön vorkommen; nirgends findet er harmonische, zart abgestufte Farbentöne. Aber mit der Gewohnheit ändert sich dieser Eindruck, was zuerst hart, wild, fast brutal erschien, erweist sich nun als großartig und ausdrucksvoll, voll Kraft und Majestät, und die grellen, schreienden Farben zeigen sich allmählich doch als in hohem Grade zart, wechselnd und effektvoll. Wäre es nur die Größe der Erscheinung, welche Eindruck macht, so ließe sich die Summe in wenigen Worten zusammenfassen: der Cañon ist über 200 englische Meilen lang, 5–12 Meilen breit und 5000–6000 Fuß tief. Es gibt längere und breitere Thäler und sogar einzelne, welche tiefer sind; aber doch ist der Große Cañon das Erhabenste, was es auf Erden gibt, durch das Zusammenwirken aller Einzelheiten.

„Vom äußersten Ende von Point Sublime ist der Abstand bis zu dem nächsten Punkte der jenseitigen Uferhöhe 7 (englische) Meilen, aber die beiden Ränder sind von weiten Amphitheatern ausgebuchtet und treten daher für gewöhnlich bedeutend weiter auseinander. In das unmittelbare Gesichtsfeld, 50 Meilen lang und 12 Meilen breit, drängt sich eine ungeheure Menge von einzelnen Objekten, so riesenhaft, so majestätisch, so unendlich mannigfaltig in ihren Details, daß man sie nur allmählich faßt und aufs tiefste bewegt wird von dem erwachenden Eindrucke. Unzweifelhaft tritt vor allem andern groß und überwältigend die jenseitige Thalwand entgegen; der menschliche Geist kann sich keine Vorstellung machen von einer 1 Meile hohen Felsmauer, die, in einer Entfernung von 7 Meilen gegenüberliegend, sich rechts und links in die Unendlichkeit zu verlieren scheint. Man fühlt sich erdrückt und überwältigt; wäre es noch eine senkrechte, glatte Wand, so fände sich ein Ruhepunkt, allein überall tritt in derselben die größte Mannigfaltigkeit entgegen. Tiefe Amphitheater springen weit in das jenseitige Plateau ein, zwischen ihnen ragen mächtige Vorsprünge heraus, die in herrlichen Giebeln ausladen. So ist der Rand in eine Menge Buchten und vorspringende Ecken zerteilt, mit zahllosen Vorsprüngen, die teilweise als scharfe Sporen in die



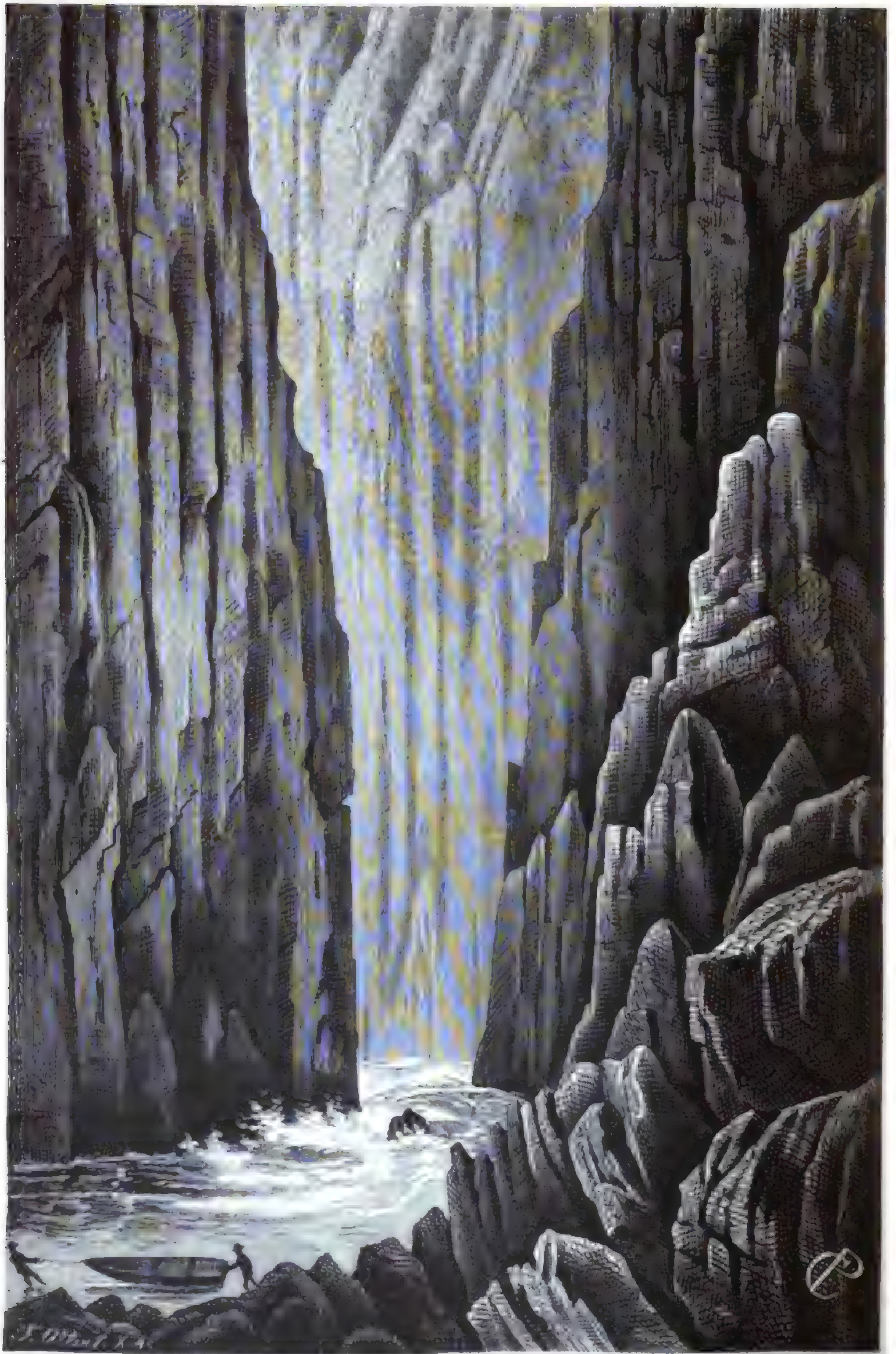
Seitenpfeiler des Großen Cañon vom Rio Colorado in Nordamerika (nach Ives). Vgl. Text, S. 451.

Tiefe setzen. Nur bei den unmittelbar gegenüberliegenden Amphitheatern dringt der Blick bis in den Hintergrund, aber so außerordentlich, so unglaublich wirkt die perspektivische Verkürzung, daß es unmöglich ist, sich von deren Ausdehnung ein Bild zu machen. Zahlreiche losgelöste Massen schließen sich an die Vorsprünge an, gigantische Pfeiler, die aber trotz ihrer Größe erdrückt werden von der ungeheuern Masse der gegenüberliegenden Wand (s. Abbildung, S. 450). Nur wenig minder machtvollen Eindruck als diese selbst machen die unmittelbar benachbarten Pfeiler auf der eignen Uferseite, welche eine Schönheit der Formen, eine Großartigkeit und dabei eine mannigfaltige Zerrissenheit zeigen, welche jeder Beschreibung spottet."

Übrigens stürzt der Abhang des Cañon nicht in einer Flucht bis in die volle Tiefe hinab, nur bei einzelnen weit hinausragenden Vorgebirgen hat man auf einmal den ganzen Anblick eines 5000—6000 Fuß tiefen Abgrundes. Im allgemeinen fällt das Gehänge zunächst 2000—3000 Fuß tief ab, und unter diesem ersten Absatze breitet sich eine zwar rauhe und unebene, aber, wenigstens im Vergleiche mit den dominierenden Wänden, flache Terrasse aus, in welche dann erst die innere, weit engere Schlucht eingeschnitten ist (s. Abbildung, S. 452). Wir ersehen daraus, wie durch jede Flußterrasse eine Pause, ein Stillstand in der Austiefung gegeben ist, an dessen Ende erst die tiefste Schlucht gebildet wurde.

Die höchst merkwürdigen Erscheinungen dieses enormen Flußthales, welches in ein sehr flaches und gleichmäßiges Plateau eingefurcht ist, können nur auf eine Weise erklärt werden: durch das Einschneiden eines wasserreichen, reißenden, zahlreiche Gerölle und Sand führenden Stromes, der, aus feuchtem, regenreichem Hochgebirge kommend, über ein trocknes, wasserloses Tafelland fließt. Das sind die Verhältnisse heute, aber sie müssen während der ganzen Dauer der Cañonbildung dieselben gewesen sein, denn sonst müßte man von beiden Seiten eine Menge tief einschneidender Nebenthäler in den Hauptcañon münden sehen. In Wirklichkeit sind aber deren kaum zwei oder drei von Bedeutung vorhanden; wir müssen daher annehmen, daß die ganze Austiefung des Cañon unter ähnlichen Verhältnissen stattgefunden hat, wie sie heute herrschen. Allerdings hat sich eine Episode, eine vorübergehende Zeit reichen Niederschlages auch für die Plateauregion eingeschoben. Dutton hat gezeigt, daß die Bildung des Cañon in dem letzten Abschnitte der Tertiärformation, in der Pliocänzeit, begonnen hat, welche gleich der jetzigen ein trocknes Klima hatte; zwischen beiden aber liegt die Eiszeit, die zwar im Coloradogebiete keine Gletscher brachte, jedenfalls aber kühler und feuchter war als die vorhergehende und nachfolgende Periode. Und wenn dieselbe auch verhältnismäßig wenig Spuren hinterlassen hat, so scheinen doch einige Anlagen von Seitencañons, die sich hoch oben an den Gehängen zeigen und offenbar nur während verhältnismäßig kurzer Zeit Wasser enthielten, auf ihre Wirkung zurückzuführen zu sein.

Wir können hier nicht weiter auf die noch in vieler Beziehung interessanten Verhältnisse der Cañonregion eingehen; sie zeigt uns an einem extremen, wunderbar ausgebildeten Beispiele die Wirkung eines Stromes mit starkem Gefälle auf eine trockne Hochebene. Aber noch weit wichtiger und instruktiver ist es, was uns dieser Fall in Beziehung auf die ungeheure Länge der geologischen Zeiträume lehrt. Ungefähr seit dem Beginne der Pliocänzeit hat der Fluß in sehr harten Gesteinen ein Thal ausgenagt von fast 2000 m Tiefe und von durchschnittlich 12 englischen Meilen Breite bei einer Länge von 200 englischen Meilen. Wenn selbst der Fluß unausgesetzt auf einer Stelle in die Tiefe genagt und gesägt, wenn er mit andern Worten eine sehr enge und schmale Schlucht eingerissen hätte, so wäre das eine ungeheure Leistung; um jedoch die erstaunliche Breite des in festen Felsen eingeschnittenen Kanales hervorzubringen, mußte er mannigfach seinen Lauf verändern, also sehr viel mehr Zeit verwenden, als eine einfache Schlucht erfordert hätte. Wir können uns der Einsicht nicht verschließen, daß zu einer solchen Aktion Millionen von Jahren erforderlich sind, und diese riesige Summe müssen wir für den Zeitraum von Beginn des



Innere Schlucht des Großen Cañon vom Rio Colorado in Nordamerika (nach Ives). Vgl. Text, S. 451.

Pliocän bis heute zugestehen, einen Zeitraum, der, geologisch gesprochen, so gering ist, daß die Veränderung der Meeresmollusken während desselben nur unbedeutend war und sich kaum auf die Hälfte der Arten derselben erstreckt hat. Man hat allerdings, um diese Konsequenz abzuschwächen und kürzere Zeiträume herausrechnen zu können, angenommen, daß früher ein sehr nasses Klima geherrscht habe, während dessen der Colorado ungeheure Wassermassen geführt habe und die Austiefung sehr rasch vor sich gegangen sei. Aber diese theoretischen Vorurteilen zuliebe aufgestellte Hypothese hat nicht den mindesten Halt und wird durch die Beobachtungen von Dutton über die Seitenthäler des Großen Cañon widerlegt.

Karstbildung.

Sehr eigentümliche Erscheinungen zeigen sich in den Gebieten, welche ganz oder zum größten Teile aus großen Massen reiner Kalke und Dolomite bestehen; zwei Eigenschaften dieser Gesteine bedingen eine abweichende Terraingestaltung: ihre bedeutende Zerklüftung und ihre verhältnismäßig erhebliche Löslichkeit in kohlensäurehaltigem Wasser. Die nächsten Folgen davon sind, daß einerseits das Wasser der atmosphärischen Niederschläge leicht in die Tiefe versinkt und daher die Zirkulation desselben großenteils unterirdisch stattfindet, anderseits, daß chemische Zerstörung und Wegführung nicht nur oberflächlich, sondern auch in der Tiefe eine sehr bedeutende Rolle spielt und die Wirkung der mechanischen Zerstörung unter günstigen Verhältnissen ganz wesentlich übertrifft.

In welchem Grade diese Eigentümlichkeiten Platz greifen, hängt allerdings in hohem Maße von der Stärke der Zerklüftung wie von der Lagerung der Schichten und den äußern Terrainformen ab. Wo Kalke stark aufgerichtet sind, stark geneigte Gehänge besitzen und zur Bildung von Bergketten mit scharfer Kamm- und Gipfelbildung hinneigen, da ist am wenigsten Gelegenheit gegeben, die Eigentümlichkeiten des Kalkterrains hervorzukehren. Die starke Neigung befördert und erleichtert den oberflächlichen Ablauf des Wassers sowohl als den mechanischen Transport von Gesteinsfragmenten und beeinträchtigt das Versickern und die chemische Einwirkung durch die Schnelligkeit des Abflusses. Immerhin treten auch hier manche auffallende Erscheinungen auf, unter welchen die Bildung der sogenannten Karren oder Schratten hervorgehoben zu werden verdient. Wo mäßig geneigte Flächen, namentlich Schichtflächen, von reinem kompakten Kalke in größerm Maßstabe entblößt anstehen und das Wasser der atmosphärischen Niederschläge über dieselben abläuft, folgt dasselbe den für den Ablauf günstigsten Linien. Es löst dabei etwas von dem Kalke auf, und um so sicherer wird späterhin das Wasser immer wieder denselben Weg einschlagen und diese Kanäle immer tiefer ausnagen. Dieser Prozeß wird sich da am günstigsten entwickeln, wo Wasser, über eine große Fläche gleichmäßig verteilt, langsam abläuft und den Boden beständig feucht erhält. Diese Bedingungen sind vor allem bei Schneefeldern in der Nähe der Schneelinie gegeben, welche bis sehr spät im Jahre sich erhalten. Hier werden die Kanäle außerordentlich eng und scharf, mit senkrechten Wänden, 1—2, ja, wie berichtet wird, in einzelnen Fällen sogar 6—10 m tief eingeschnitten. Die einzelnen Rinnen liegen dicht nebeneinander und verlaufen parallel bergab, in der Regel nur durch schmale, oft geradezu messerartig scharfe Kalkrippen voneinander getrennt. Diese im höchsten Grade wilden und phantastischen „Schratten- oder Karrenfelder", welche zu den unangenehmsten Partien bei Bergwanderungen gehören, sind namentlich in den Kreidekalken der Vorarlberger und der Schweizer Alpen sehr entwickelt, finden sich aber auch außerdem vielfach in Gegenden, welche geeignete Verhältnisse bieten. Man hat geglaubt, daß für diese mächtige Erosion große Wassermassen notwendig seien, und wollte daher ihre Entstehung an das Ende der Eiszeit verlegen, wo

die Schmelzung der Gletscher ungeheuer große Wassermassen liefern sollte; man hat jedoch diese Ansicht verlassen, namentlich seitdem die Beobachtungen von Fugger und Kastner am Untersberge bei Salzburg bewiesen haben, daß keine große Wassermenge zur Erzeugung von Karren nötig ist. Es zeigte sich nämlich in einem Steinbruche bei Abräumung einer Kalkbank, daß die durch die Wegbrechung derselben bloßgelegte Schichtfläche, welche in diesem Augenblicke zum erstenmal an die Luft kam, schon mit Karren bedeckt war. Es hatten also die geringen Mengen von Sickerwasser, welche in der Fuge zwischen zwei Schichten ablaufen, schon zu deren Hervorbringung genügt.

Anders sind die Ergebnisse in schwächer gebirgigem Terrain, wo das Wasser nicht so rasch an den steilen Gehängen abfließt; hier ist die auslaugende und auflösende Thätigkeit weit intensiver, sie äußert sich durch die Bildung von Felstrichtern und Kesseln, von Höhlen, unterirdischen Flußläufen und Wasserbecken. Diese Erscheinungen treten auch im eigentlichen Hochgebirge auf, wo dieses in seinen kulminierenden Partien nicht zur Kamm- und Spitzenbildung, sondern zur Plateauentwickelung neigt, z. B. in jener großen Zahl von hohen Kalkmassen, welche vom Steinernen Meere bei Berchtesgaden durch das Salzkammergut, durch Ober- und Niederösterreich bis zur Rax-Alpe südlich von Wien sich aneinander reihen. In einem Gebiete von horizontal gelagertem Kalke, wie es z. B. die Höhe des fränkisch-schwäbischen Jurazuges oder die silurischen Kalktafeln der russischen Ostseeprovinzen darstellen, versinkt das Wasser in Spalten und sucht sich unterirdisch seinen Weg. Es benutzt hierzu die natürliche Zerklüftung, welche den Kalken so häufig eigen ist; wo aber durch tektonische Veränderungen der Zusammenhang des Gesteines in ausgiebiger und auf eine größere Strecke zusammenhängender Weise gelöst ist, wo Verwerfungen auftreten, werden diese mit Vorliebe als Weg benutzt, und so erklärt es sich, daß die verschiedenen Trichter, Höhlen rc. sich verhältnismäßig häufig an Verwerfungen knüpfen. Die nächste Wirkung, die das Wasser auf seinem unterirdischen Wege übt, ist die Erweiterung seines Bettes, die Vergrößerung der Spalten; an einzelnen Stellen geschieht dies in besonders energischer Weise, es entstehen dadurch größere Hohlräume, die berühmten Höhlen der Kalkgebiete, welche in so vielen Gegenden, z. B. in Franken in der Umgebung von Muggendorf, in den Devonkalken Mährens und in vielen andern Gegenden, am schönsten in den sogenannten Karstdistrikten von Krain, Istrien und Dalmatien vorkommen.

Die Beschaffenheit dieser Höhlen ist eine außerordentlich verschiedene, sowohl in ihrer ganzen Anlage als in den Einzelheiten ihrer Ausbildung. Manche von ihnen, namentlich in den Karstregionen, sind durch die Auslaugung gebildete unterirdische Flußläufe, echte Erosionsthäler, die nur insofern abweichend ausgebildet sind, als die beiden Thalwände sich über dem Flusse in der Höhe wieder zusammenschließen und ihn überwölben. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Entwickelung ist z. B. die Planinagrotte in Krain, welche das Bett des Poikflusses darstellt. Andre Höhlen haben größere Breite bei geringer Länge; oft mündet ein Fluß oder eine unterirdische Wasserader in die Grotte und fließt am Boden hin, bisweilen staut sich das Wasser in derselben und bildet ein Reservoir, einen unterirdischen See. Oft aber hat auch der Wasserlauf, welcher die Grotte ausgehöhlt hat, sich neue Bahnen geöffnet und sein altes Bett verlassen; dann finden wir die Höhle trocken. Sickert in eine solche von oben mit Kalklösung beladenes Wasser ein, so schmückt sie sich mit den wunderbaren Tropfsteinbildungen, deren Entstehung wir bei einer spätern Gelegenheit kennen lernen werden.

Diese Höhlen des Kalkgebirges haben teilweise in früherer Zeit zahlreichen Generationen von Raubtieren zur Stätte gedient; wir finden in denselben oft in ungeheurer Menge die Knochen dieser Bewohner zusammen mit denjenigen der Tiere, welche sie als Beute in ihre Schlupfwinkel geschleppt haben. In manchen haben auch in früherer Zeit Menschen, noch unkultivierte Ureinwohner, sich häuslich eingerichtet; wir finden dann ihre rohen, aus

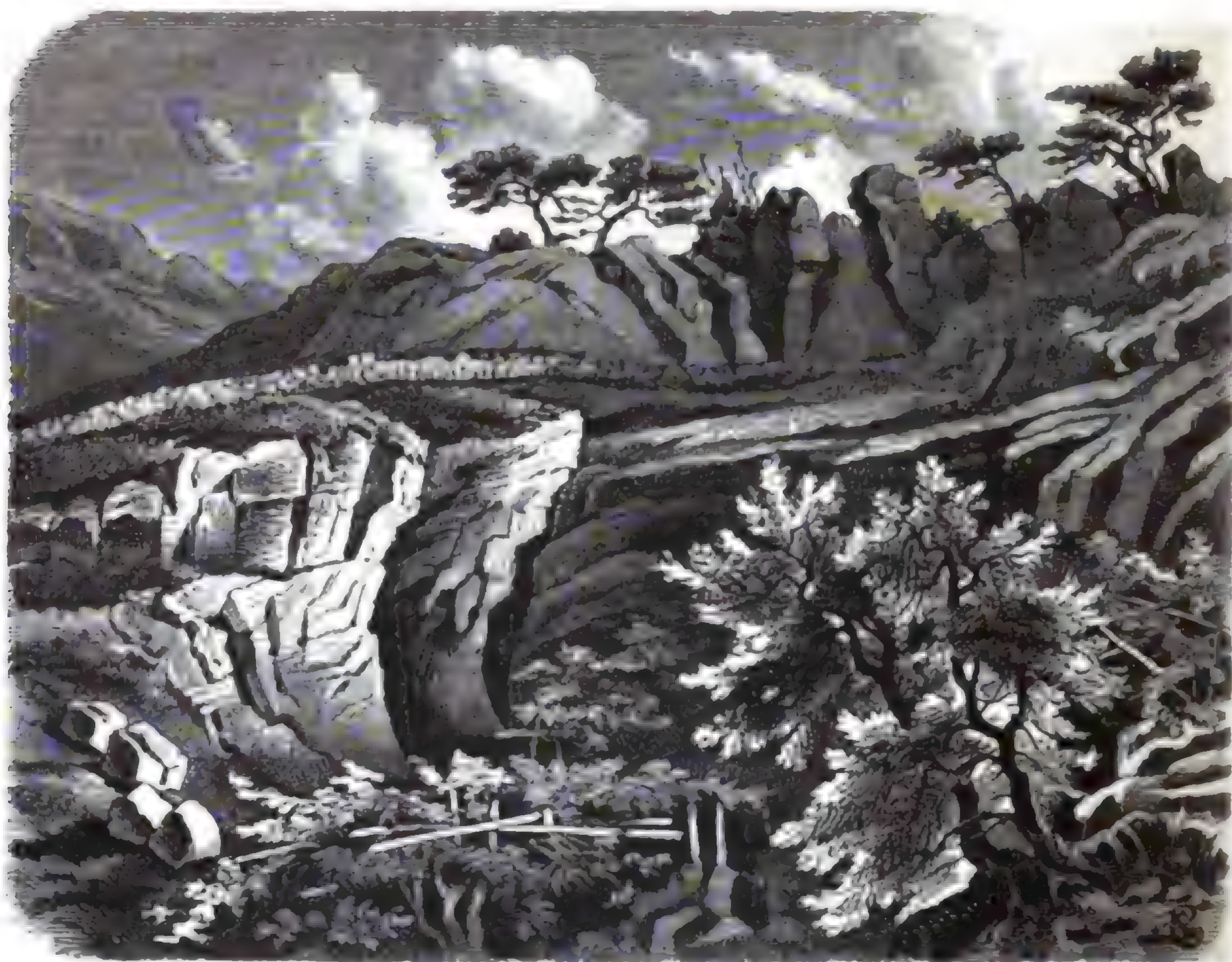
Feuerstein, Hirschhorn, Knochen und ähnlichem Materiale gearbeiteten Werkzeuge und Waffen zusammen mit den Resten ihrer Mahlzeiten. Um diese verhältnismäßig geschützten Wohnungen hat, wie es scheint, ein erbitterter Kampf stattgefunden zwischen den Menschen und den Raubtieren jener Zeit, dem Höhlenlöwen, der gewaltigen Höhlenhyäne und dem riesigen Bären. Räumt man den Knochenlehm vorsichtig und schichtweise vom Höhlenboden ab, so sieht man, daß eine und dieselbe Grotte im Verlaufe der Zeit von verschiedenartigen Bewohnern eingenommen war; oft hat der Mensch die Hyäne oder den Bären verdrängt, aber auch umgekehrt ist oft der Mensch in dem Kampfe unterlegen.

An der Oberfläche bilden die auffallendste und häufigste Erscheinung die sogenannten Karsttrichter oder Dolinen, meist regelmäßig kreisförmige oder elliptische Vertiefungen, deren Wände meist ziemlich steil abfallen. Die Größe dieser Trichter ist sehr verschieden, manche derselben haben nur einige Meter im Durchmesser, bei andern steigt er bis zu $^2/_3$ km an. Diese Vertiefungen des Bodens bezeichnen uns äußerlich Kommunikationen der Oberfläche mit dem unterirdischen Systeme von Wasserläufen und Hohlräumen; oft findet man am Grunde der Dolinen den Eingang eines in die Tiefe setzenden Kanales, häufiger allerdings ist ein solcher nicht sichtbar, wohl in der Regel infolge einer Verstopfung oder Verdeckung durch herabgestürzte Trümmer. Häufig genug aber wird das Vorhandensein eines solchen Kanales, dessen Eingang dem Auge entzogen ist, durch die merkwürdige Erscheinung bezeugt, daß von seinem Grunde in der warmen Jahreszeit kalte Luft ausgestoßen wird, während anderseits im Winter Luft eingesaugt wird, ein Vorgang, der diesen Vertiefungen in manchen Gegenden den Namen Windlöcher oder Wetterlöcher verschafft hat.

Über die Entstehung der Dolinen kann man nicht für alle Fälle mit Sicherheit entscheiden; wohl die Mehrzahl ist lediglich durch Einsturz, durch Hinabbrechen in unterirdische Hohlräume entstanden. Eine Anzahl solcher Einstürze, die von lokalen Erdbeben begleitet zu sein pflegen, sind bekannt; man weiß z. B. aus dem krainisch-istrischen Karstgebiete von Fällen, wo plötzlich Häuser mit allen ihren Bewohnern mit hinabgerissen worden sind. Pilar berichtet aus der kroatischen Militärgrenze: „An manchen Stellen gehen diese Veränderungen so rasch von statten, daß mancher Grenzerjüngling, der nach einigen Dezennien sein Vaterland wiedersah, wohl sagen konnte, es sei durch Neubildung von Trichtern gar nicht mehr zu erkennen gewesen. Häuser mußten infolge von Erdstürzen verlassen werden, Obstgärten, die bestanden hatten, waren nicht mehr, und neue Saumwege waren gebahnt, da die frühern unwegsam geworden." In einigen Fällen ist es auch gelungen, unterirdische Blockanhäufungen in Höhlen mit solchen Trichtern an der Oberfläche in Zusammenhang zu bringen. Bei der Erforschung der Krainer Grotten nahm Schmidl den Grundriß derselben auf, suchte dann an der Oberfläche genau die Stellen und bestimmte, welche einzelnen bemerkenswerten Punkten in der Höhle entsprechen, d. h. senkrecht über denselben liegen. Es zeigte sich dabei, daß zwei Anhäufungen von herabgestürzten Blöcken in der Adelsberger Grotte genau unter Dolinen lagen, welche sich im Walde fanden. Allerdings liegt der Einwand nahe, daß, die Richtigkeit dieser Erklärung vorausgesetzt, man tiefe, senkrechte Schlöte erwarten sollte, welche in eine unterirdische Höhlung endigen; solche Formen kommen vereinzelt vor, aber man ist nicht berechtigt, dieselben als die normale Gestalt solcher Einstürze zu betrachten. Deutlich sehen wir dies, wie Tietze hervorhebt, an den „Pingenzügen" alter Bergbaue. Sehr häufig kommen in verlassenen Bergwerken, in welchen die Hohlräume nicht mehr gestützt werden, Einstürze vor, die sich dann an der Oberfläche oft durch das Auftreten gerundeter, trichterförmiger Einsenkungen zu erkennen geben. Ebenso verhält es sich bei den Dolinen; nicht alles Material stürzt in einen Hohlraum hinab, sondern die Trümmer sperren sich in dem Schlote, füllen denselben teilweise aus, und von der Oberfläche her bildet sich allmählich eine natürliche Böschung, welche die Trichterform bedingt.

Ist es aber auch gewiß, daß viele Dolinen in dieser Weise entstehen, so ist es doch auch sicher nicht die einzige mögliche Bildungsart; einfache Erosion, Auflösung des Kalkes können einen Kanal in der Tiefe erweitern, dessen oberes Ende sich später durch Schutt verstopft und die Trichterform annimmt; auch kann und wird der Fall eintreten, daß die lösende Kraft des Wassers einen schmalen Abzugskanal an seinem obern Ende erweitert, wozu namentlich das Schmelzwasser des Schnees am mächtigsten beitragen wird.

Als eine stete Gefolgeerscheinung dieser Entwickelung in Kalkgebieten tritt das Vorkommen des **roten Lehmes**, der **Terra rossa**, auf, deren Entstehung als Auslaugungsprodukt



Eine Doline aus dem Triestiner Karst.

mariner Kalke wir oben (s. S. 405) kennen gelernt haben. Sie sammelt sich überall da an, wo sie vor der Abschwemmung durch die Terrainverhältnisse geschützt ist, und in besonderer Menge wird sie in Vertiefungen, in den Dolinen, zusammengeführt (s. obenstehende Abbildung). In manchen der steinigen und unfruchtbaren Karstgebiete an der Ostküste der Adria bilden die Ansammlungen des roten Lehmes im Grunde der Vertiefungen sogar weithin den einzigen fruchtbaren Boden, den die Bevölkerung bebaut, und so kostbar ist dort die Terra rossa, daß oft genug ein armer Grundbesitzer nachts der Doline seines Nachbars einen Besuch abstattet, um eine Last Erde zu holen und in seinen Trichter zu tragen. Der große Reichtum an Eisen, welcher diesem roten Verwitterungsreste der Kalke eigen ist, wird häufig vom Wasser wieder ausgelaugt und gibt dann Anlaß zur Bildung von Eisensteinen, von Bohnerz und Rasenerz, welche z. B. im Juragebirge und in Dalmatien so reichlich sind, daß sie in früherer Zeit, als die Konkurrenzverhältnisse des Eisenmarktes noch keine so schwierigen waren, mit Gewinn ausgebeutet und verhüttet werden konnten.

All die geschilderten Erscheinungen der Kalkregionen kommen in ausgezeichnetster und entwickeltster Weise in der Karstregion in Krain, Istrien, dem kroatischen Küstenlande, in Dalmatien, einem Teile von Bosnien, der Herzegowina, Montenegro, Albanien und in einzelnen Teilen von Griechenland vor. Das Vorhandensein außerordentlich mächtiger Massen sehr reinen Kalkes in Verbindung mit stark gestörtem Schichtenbaue, der also der unterirdischen Wasserzirkulation die Wege sehr leicht gestattet, endlich günstige Terrainverhältnisse scheinen durch ihr Zusammenwirken alles das, was man nach ebendiesem Vorkommen als „Karstphänomene" bezeichnet, hier in gesteigertem Maße hervortreten zu lassen. Nirgends ist die Menge und Größe der Dolinen bedeutender, nirgends die Zahl und Ausdehnung der unterirdischen Flußläufe, der Höhlen größer, die Anordnung des gesamten Wassersystemes verwickelter und merkwürdiger (s. Abbildung, S. 458).

Allerdings tritt noch die besondere Ursache für die Eigentümlichkeiten dieser Regionen hinzu, daß die Erosion und die Entwickelung der heutigen Terrainformen auch in ihren Einzelheiten schon zu einer Zeit begannen, als die Gebirgsbildung, die Aufrichtung und Faltung der Schichten, noch in voller Thätigkeit war. Es kommt das hauptsächlich in der Bildung eigentümlicher **Kesselthäler** zur Geltung, der „Polje", wie sie die slawischen Einwohner nennen, welche ganz den Charakter normaler, breiter Erosionsthäler besitzen, aber thalabwärts durch eine Terrainerhebung, einen Querriegel, abgedämmt sind. Wir haben bei der Besprechung der Thalbildung (s. S. 436) gesehen, daß die Thäler vielfach älter sind als die Gebirge, welche sie durchsetzen, und daß die Flüsse sich in dem Maße, als Aufrichtung der Schichten ihr Bett abzudämmen strebte, weiter einschnitten und so endlich die Gebirgsketten in tiefen Thälern durchschneiden. Nur, wo die erodierende Kraft des Wassers nicht intensiv genug ist, um in demselben Maße auszufeilen, als die Aufrichtung vor sich ging, werden die Thäler durch die Gebirgsbildung abgedämmt werden. Dieser Fall konnte in diesen Gegenden besonders leicht eintreten, wo die oberflächliche Erosion schwach und die Thätigkeit des Wassers großenteils in die Tiefe verlegt ist. Einerseits kann der Fluß, welcher ein derartiges Thal anfangs offen erhielt, durch neugeöffnete unterirdische Wege ganz abgeleitet werden, dann entsteht ein Kesselthal normaler Art; anderseits konnte aber auf dieselbe Weise nur seine Wassermenge vermindert werden, dann wurde er in dem Polje zu einem See gestaut, der unter Umständen später auch noch abgezapft wurde und ganz nach der Tiefe abfloß. In der That finden wir in Dalmatien, Bosnien &c. in vielen solchen Kesseln die Ablagerungen jungtertiärer Binnenseen, die heute verschwunden sind.

Die unterirdischen Wege, auf denen das Wasser der Kesselthäler abgezogen ist, sind auch heute noch offen und geben zu sehr merkwürdigen Erscheinungen Anlaß. In sehr nassen, regenreichen Jahrgängen füllen sich an manchen Punkten unterirdische Reservoirs, welche aus größerer Höhe Zufluß erhalten, und nun fließt das Wasser nach oben in die Kesselthäler ab; hier sprudelt es aus den Mündungen der Kanäle, den sogenannten Sauglöchern, empor und überschwemmt die ganze Mulde, es bildet sich zeitweilig ein See, der so lange andauert, bis das unterirdische Reservoir sich wieder etwas geleert hat, so daß nun das Wasser wieder durch dieselben Sauglöcher abfließen kann. Das sind die Verhältnisse des berühmten Zirknitzer Sees in Krain; dieselbe Erscheinung wiederholt sich noch in einer Anzahl andrer Becken.

Auch außerdem zeigen die Wasserverhältnisse der Kalkplateaus an der Nord- und Ostküste der Adria viele sehr merkwürdige Erscheinungen. Sehr einfach erklärt sich das plötzliche Verschwinden von Flüssen in Höhlen oder das Austreten bedeutender Wassermassen aus solchen; ein Phänomen dagegen, das noch immer einigermaßen rätselhaft erscheint, ist das der sogenannten **Meermühlen** von Argostoli auf der Jonischen Insel Kephalonia, das allerdings nicht ganz isoliert dasteht, sondern in schwächerer Entwickelung, nach **Lorenz**, auch in der



Karstlandschaft aus der Gegend von Triest. Vgl. Text, S. 467 und 460.

Nähe von Fiume und wohl auch an andern Punkten der Küste vorkommt. Auf Kephalonia bemerkte man, daß Meerwasser an einigen Punkten des Festlandes in nahe der Küste, aber etwas tiefer als der Meeresspiegel gelegene Öffnungen im kalkigen Boden einströmt und versinkt. Man vertiefte künstlich einzelne der Rinnen, in welchen das Salzwasser landeinwärts strömt, und hieb an der Stelle, wo dasselbe in den Grund versinkt, größere Bassins in den Felsen; dadurch wurde die Menge des einströmenden Wassers erheblich vermehrt, so daß dasselbe jetzt an zwei Punkten Mühlräder zu treiben im stande ist; diese beiden Stellen verschlucken jährlich 200 Millionen Kubikmeter Meerwasser, das spurlos in die Tiefe versinkt. Man hat die verschiedensten Versuche gemacht, um zu erklären, wohin dieses Wasser gerät, man hat gedacht, daß dasselbe irgendwie nach vulkanischen Herden abfließt und dort verdampft, oder man hat angenommen, daß durch energische Verdunstung der Grundwasserspiegel auf Kephalonia auf tieferm Niveau erhalten wird als das Meeresniveau, so daß von diesem aus ein Zufluß ins Innere stattfinden kann. Allein keine dieser Annahmen hat sich als genügend erwiesen; die meiste Wahrscheinlichkeit hat wohl die von Wiebel gegebene Deutung, daß man es mit der Saugwirkung einer unterirdisch abfließenden Quelle zu thun habe.

Sehr häufig sind die Kalkplateaus und ganz speziell die Karstländer äußerst steril und arm an Pflanzenwuchs, vor allem an Wald. Man hat sich vielfach daran gewöhnt, diesen Mangel als unzertrennbar von den Karsterscheinungen, sogar als die Ursache dieser anzusehen. Diese Annahme ist jedoch irrtümlich. Es ist bekannt, daß in früherer Zeit die öden und trostlosen Karstdistrikte mit dichten Wäldern bedeckt waren; allein seit zwei Jahrtausenden sind dieselben in schonungslosester Weise verwüstet worden, sie haben vor allem die Pfähle geliefert, die, zu Millionen in den Laguneninseln Venedigs eingerammt, die Prachtbauten dieser Stadt tragen, und sie haben das Bauholz für die Galeeren der meerbeherrschenden Republik hergeben müssen. Die Höhen Istriens und Dalmatiens sind seit dieser Zeit kahl und vegetationslos, aber wasserarm waren sie schon vorher, schon früher trugen sie Dolinen, und schon früher versanken ihre Flüsse, Bäche und Quellen in unterirdischen Grotten. Den sichern Beweis dafür liefert der Umstand, daß auch heute namentlich in Krain reichbewaldete Karstdistrikte existieren, die an Entwickelung der charakteristischen Erosionserscheinungen wie an Wasserarmut hinter den vegetationslosen Strecken kaum zurückbleiben.

Der ursachliche Zusammenhang beider Erscheinungen ist ein andrer: die Eigentümlichkeiten des Kalkbodens bedingen die große Schwierigkeit einer Wiederaufforstung, wenn der Wald einmal auf weiten Strecken vernichtet ist; die fruchtbare Erde, welche den Fels bedeckt, wird von den in die Tiefe stürzenden Wassern mitgerissen und die ohnehin dünne Decke rasch weggewaschen. Ein Ersatz durch Felsverwitterung geht bei dem sehr geringen Silikatgehalte der Kalke und bei der Geringfügigkeit der mechanischen Erosion überaus langsam vor sich, und die sich neu bildende rote Erde kann sich nicht halten. Die Ursache der Kahlheit in den karstigen Gebieten liegt also darin, daß jede einmal vorgenommene Verwüstung der Vegetation und vor allem des Waldes nahezu irreparabel ist.

Der Charakter der entwaldeten Kalklandschaft macht sich schon auf dem Juraplateau Frankens und Schwabens schlimm genug geltend, aber selbst die sterilsten Striche dieser Gegend geben noch keine Idee von der Trostlosigkeit der Kalksteinwüsten der adriatischen Karstländer. Schon die von Wien nach Triest führende Bahnstrecke gewährt namentlich in der Umgebung von Nabresina einigermaßen ein Bild dieser Gegenden (s. die Abbildungen auf S. 458 und 460), der dürre Steinboden, die ungeheure Menge der umhergestreuten Steinblöcke, die massenhaften Dolinen zeigen sich mehrfach, wenn auch diese Strecke an sich keine der wildern ist und überdies sorgfältige Kultur und Aufforstungsversuche mildernd wirken. Es ist auch hier nur eine schwache Vorstellung von dem gegeben, was der Karst an andern Stellen ist, wo

buchstäblich, soweit das Auge reicht, kein Halm auf dem trostlosen, zerrissenen Felsboden zu sehen ist. Solche Strecken, wie sie in weiter Ausdehnung vorkommen, werden wohl nur von den großen Wüstendistrikten der Erde an abschreckender Wildheit und Öde übertroffen. Unendlich armselig ist das Leben der Einwohner, die das Wasser für ihren Unterhalt meilenweit zu holen oder das Naß jauchiger Pfützen zu trinken gezwungen sind, und bei denen eine kleine Felsritze mit etwas roter Erde, wo ein einzelner Ölbaum gedeiht, als selbständiger Grundbesitz gilt.

Diese kahlen Hochflächen sind die Heimat der Bora, jener furchtbaren Nordoststürme, welche mit unglaublicher Gewalt alles vor sich niederwerfen. Schon mehr als einmal haben



Karstboden bei Nabresina. Vgl. Text, S. 459.

ihre rasenden Stöße ganze Bahnzüge von den Dämmen herabgeworfen, und selbst am Fuße der Höhen, z. B. in Triest, ist ihre Macht noch so groß, daß bei ihrem plötzlichen Einsetzen die Menschen auf den Straßen sich rasch nach einem festen Anhaltspunkte umsehen müssen, um nicht niedergeworfen oder fortgeschleudert zu werden.

Man hat vielfach nach Mitteln geforscht, um den Zustand der Kalkflächen zu verbessern; allseitig wird als das einzige Mittel einer wirklichen Verbesserung der Zustände eine umfassende Aufforstung erkannt, die freilich großen Schwierigkeiten begegnen und sehr bedeutende Kosten verursachen, ja gerade in einigen der ödesten Distrikte unmöglich sein dürfte. Die erste Aufgabe bei solchen Arbeiten, wie sie in manchen Gegenden schon begonnen sind, ist es, durch Anpflanzung der allergenügsamsten Gewächse die weitere Abschwemmung der noch vorhandenen und der neu sich bildenden Erde zu hindern und dann allmählich mit zunehmender Verbesserung des Bodens andre, für die Dauer geeignete Kulturen einzuführen. Dabei müssen alle neuen Versuche sich räumlich an schon vorhandene Bestände anschließen, da hier mehr Schutz gegen die vernichtende Wirkung der Bora geboten ist. Denken wir uns

aber auch eine Aufforstung im weitesten Umfange glücklich durchgeführt, so darf man nicht erwarten, daß sie als ein Universalmittel alle Schäden heilen, die Gegend in üppig fruchtbares Land verwandeln werde. Dieser Erfolg wird nie eintreten, die Wassersnot wird nicht gehoben werden. Zwar wird auch in dieser Richtung eine kleine Besserung eintreten, die Bildung einer neuen Pflanzendecke wird jedenfalls den Ablauf des Wassers in die Tiefe einigermaßen verzögern, einzelne Spalten verschließen und so der Oberfläche etwas mehr Feuchtigkeit erhalten; aber eine durchgreifende oder auch nur namhafte Änderung wird sicher nicht eintreten. Die wohlthätigen Folgen der Aufforstung werden vorzüglich darin bestehen, daß bisher ganz sterile Striche ein wenn auch nur geringes Erträgnis liefern, und daß die Macht der Bora gemildert und der fortschreitenden Verwilderung Grenzen gezogen werden.

Fassen wir die Grundzüge des Charakters der flächenbildenden Kalklandschaft zusammen, so finden wir, daß derselbe in der geringen mechanischen und der vorwiegenden chemischen Erosion, in dem Versickern der Wasser, in der Verlegung der Hauptmasse der Wasserzirkulation und der Erosion in die Tiefe besteht. Die Gefolgeerscheinung ist die Bildung von Höhlen und unterirdischen Kanälen und von Felstrichtern an der Oberfläche; dazu kommt noch die Bildung von Terra rossa und ihre Zusammenführung in Vertiefung, endlich die hervorragende Neigung für Verwilderung. Es sind das die wesentlichen Punkte, welche in höherm oder geringerm Grade überall unter geeigneten Verhältnissen wiederkehren. Dieser gemeinsame Typus variiert erheblich je nach der Zusammensetzung und Struktur der Kalke, nach ihrer Lagerung, der Menge der Schichtstörung; endlich werden noch weitere Komplikationen herbeigeführt, wenn diese Erscheinungen in einem Gebiete eintreten, in welchem die Aufrichtung und Faltung der Schichten noch im Fortgange begriffen ist. So auffallend dadurch aber auch die individuellen Unterschiede einzelner Gebiete sich gestalten mögen, so stellen diese letztern Erscheinungen doch nur untergeordnete Modifikationen des Haupttypus dar. Man hat vielfach und mit Recht von dem Namen des Territoriums, in welchem alle diese Phänomene am auffallendsten und gewaltigsten ausgeprägt sind, eine Bezeichnung für ähnlich beschaffene Regionen abgeleitet, man nennt sie Karstgebiete. Wir müssen diesen Namen auf alle Gebiete ausdehnen, welche dieselben charakteristischen Eigentümlichkeiten zeigen; auch die Hochflächen des schwäbisch-fränkischen Jura müssen z. B. als Karstgebiete gelten, wenn auch die Erscheinungen hier nur in schwachem Maße ausgebildet sind.

Allerdings ist die Verkarstung kein bleibender Zustand; wie Mojsisovics hervorhebt, wird endlich die unterirdische Wasserzirkulation und Erosion durch allmähliche Abtragung der Decke wieder in eine oberflächliche übergehen, aber wohl kaum wird dieser Zustand eintreten, ehe das ganze Kalkgebirge denudiert und seine Unterlage bloßgelegt ist. Wir können z. B. mit Bestimmtheit annehmen, daß das schwäbisch-fränkische Juraplateau viel ausgedehnter war und vor langen Zeiträumen als eine mäßig verkarstete Tafel nach Norden und Nordwesten über das Unterland übergriff; im Laufe der Zeit wurde durch Erosion der Kalke der Plateaurand immer weiter zurückgeschoben, und wo vorher kalkige Hochfläche war, dehnen sich jetzt die üppig fruchtbare Niederung und das Hügelland aus.

Lößlandschaft.

Mit den Erosionserscheinungen in Karstgebieten sind die Vorgänge verwandt, welche in den Lößgegenden, namentlich im nördlichen China, dem gelben Lößlande, stattfinden, das wir durch die ausgezeichneten Schilderungen F. von Richthofens jetzt näher kennen. Der Löß, welcher hier in riesiger Mächtigkeit auftritt, ist ein sandiger, kalkhaltiger Lehm

von sehr gleichmäßigem Korne, welcher in seiner ganzen Ausdehnung von feinen, senkrechten Haarröhren durchzogen ist und in hohem Grade zu vertikaler Absonderung und Zerklüftung hinneigt (s. untenstehende Abbildung). Eine eigentliche Schichtung ist nicht vorhanden, nur in bedeutenden Abständen schieben sich Lagen von Kalkkonkretionen, den sogenannten Lößmännchen, ein.

Eine Anzahl größerer Flüsse hat in China ihre Thäler in diese Lehmmassen eingeschnitten, sonst aber fehlt es diesem weiten Gebiete an einer oberflächlichen Zirkulation des Wassers, weil dieses durch die feinen Haarröhren des Bodens in die Tiefe sickert. Trotzdem ist das ganze Terrain von zahllosen Schluchten durchzogen, welche aber nicht einer Erosion von oben



Lößufer des Hoangho in China (nach F. v. Richthofen).

nach unten, sondern von unten nach oben ihre Entstehung verdanken, indem das unterirdisch fließende Wasser unterwäscht und nun von oben Material nachstürzt. Infolge der natürlichen Neigung zu senkrechter Zerklüftung würden auf diese Weise enge Schluchten mit vollständig vertikalen Wänden entstehen, wenn nicht die oben erwähnten Lagen von Lößmännchen vorhanden wären; jede von diesen bedingt eine Unterbrechung des Absturzes, sie bildet eine ebene Fläche, über der dann wieder eine Wand ansteigt, und so entwickelt sich ein Terrassensystem, das wohl auf der ganzen Welt nicht seinesgleichen hat. Die Art und Weise, in welcher die Schluchten sich nach rückwärts verlängern, ist eine höchst eigentümliche. Verfolgt man eine derselben bis an ihr hinteres Ende, so gelangt man hier oft an eine Strecke, in welcher das Abstürzen der Decke von oben noch nicht stattgefunden hat, man gelangt in eine Art sehr hohen, kurzen Tunnels; häufig ist im hintersten Teile desselben an einer Stelle schon ein Durchbruch erfolgt, und man sieht dann durch einen schornsteinartigen Schacht, einen „Lößbrunnen", ins Freie, zum Himmel hinauf.

Die Menge dieser Schluchten (s. Abbildung, S. 463) und der senkrechten Abstürze geben der Lößlandschaft einen äußerst eigentümlichen Charakter, welche Richthofen folgendermaßen

(gekürzt) schildert: „Als ich in die Gegend von Pingyangfu gelangte, hatte eine anhaltende Dürre das Aufkommen der Saaten vollkommen verhindert. Der Boden war kahl und einförmig gelb; wie ein Wüstenland lag das sonst so fruchtbare Thal vor mir. Man glaubte bei der klaren Atmosphäre jede Unebenheit des Bodens wahrnehmen zu müssen; allein einige in unmittelbarer Nähe gelegene Schluchten abgerechnet, schien das Land so gleichmäßig, daß man meinte, ein Regiment Kavallerie müsse im Fluge über die weite Ebene hineilen können. Und doch ist dieselbe so unzugänglich, daß selbst der Fußgänger verloren ist, wenn er sich nicht an die gebahnten Wege hält; die Schwierigkeiten des Fortkommens sind dann größer, als wenn man sich zwischen Felsen und Klippen befindet. Wandert man von einem Flusse, der sein Bett in den Löß eingeschnitten hat, in einer der Schluchten hinauf, so vereinigen sich bald mit ihr andre Schluchten von rechts und links, kleinere und größere, und in jeder derselben, wenn wir sie verfolgen, kommen wir zu neuen Rissen, und jeder von diesen verzweigt sich gegen seinen Oberlauf mehr und mehr. Steigen wir zu ihrem letzten Anfang hinauf, so finden wir die meisten schon an ihrer Ursprungsstelle als Risse von 30 bis 50 Fuß Tiefe bei einer Breite von oft nicht mehr als 3 bis 6 Fuß. Wandert man dagegen auf der Oberfläche der so sanft aussehenden Lößmulde abwärts, oder verläßt man dort einen der gebahnten Wege, so steht man plötzlich am Rande eines dieser tiefen Risse; da man nicht über denselben hinüber kann, so geht man die Spalte entlang aufwärts; aber bald wird der Weg durch eine neue Kluft verstellt, die unter einem schiefen Winkel in die erste einmündet; man folgt ihr und verliert noch mehr die Richtung des beabsichtigten Weges. Dann kommen abermalige Abzweigungen, und wenn man ihnen entlang geht, so ist man bald in dem Gewirre der immer neu hinzukommenden Schluchten verloren. Sorgfältig wandert man zu dem ersten Punkte zurück und versucht das Fortkommen nach abwärts, aber da gelangt man bald an einen klippenförmigen Vorsprung, der auf der einen Seite von der ersten Schlucht, auf der andern von einer zweiten, seitlich einmündenden begrenzt wird. Mühsam steigt man an einigen der Terrassen hinab, aber wenn man auf die letzte derselben gelangt, so stürzt sie mit senkrechten Wänden nach dem Boden der beiden Risse ab.



Lößschlucht in China (nach F. v. Richthofen).
Vgl. Text, S. 462.

„Hätte der Löß in seiner ganzen Mächtigkeit gleichmäßige Struktur, so würden solche Gegenden überhaupt nicht passierbar sein, denn dann würden die Schluchten als absolut senkrechte Spalten oft von mehr als 1000 Fuß Tiefe niedersetzen. Hier tritt als

wohlthätiges Element die Anordnung der Mergelknauern in Lagen ein, durch welche die senkrechte Wand in einen Terrassenabfall verwandelt wird. Jede einzelne Bank endet zwar in einem senkrechten, zuweilen überhängenden Abfall, aber die schützende Decke bewirkt eine Verebnung ihrer obern Fläche, und erst in einigem Abstande vom ersten Steilrande stürzt die nächste Bank ab. An diesen Wänden schreitet die Zerstörung sehr langsam fort, da sie nicht von fließendem Wasser begünstigt wird; die sparsam herabstürzenden Schollen häufen sich an ihrem Fuße und werden vom Regen und durch die Arbeit des Landmannes über die Oberfläche der Terrasse verteilt, so daß die Mergelknauern mit einer Schicht weicher Ackererde bedeckt werden. Überblickt man einen solchen Terrassenabhang in guter Jahreszeit von oben, so sieht man nichts als grüne Felder, während der Beschauer, der in der Schlucht steht, nur die gänzlich vegetationslosen Lößwände starr und gelb eine über der andern ansteigen sieht, jede am Rande von einer Reihe Grashalme begrenzt.



Lößwohnungen in China (nach F. v. Richthofen). Vgl. Text, S. 465.

„Vermöge dieser Besonderheiten gestaltet sich die Lößlandschaft zu den wechselvollsten Bildern; jeder Blick hinab in die labyrinthischen Bodeneinschnitte oder aus den Schluchten hinauf in die einzelnen der in sie mündenden Zweige bringt neue Bilder. Man kann im Löß tausend Landschaften gesehen haben und trifft mit Erstaunen stets neue, unerwartete Kombinationen, mit einer Fülle des Romantischen, Bizarren und Abenteuerlichen ausgestattet. Besonders eigentümlich gestalten sich die Bilder, wo viele Schluchten zusammenkommen und Lößpfeiler von mehreren Hundert Fuß Höhe den Raum zwischen ihren beiden Enden einnehmen, nach jeder Seite sich abterrassierend und schließlich in einen spitzwinkeligen Grat auslaufend, der an seinem letzten Ende sich noch einmal in Trümmer auflöst. An einer andern Stelle geht man in einem tief zwischen Lößwänden eingeschnittenen Hohlwege; überrascht sieht man in seiner Seite eine Öffnung angebracht, um das bei Regen sich ansammelnde Wasser abzuleiten, ein, wie man glauben sollte, in einem Hohlwege zwischen 100 Fuß hohen Wänden gewachsenen Bodens aussichtsloses Unternehmen. Mit Verwunderung gewahren wir, daß die eine Seite des Hohlweges nur eine natürliche frei stehende Erdmauer und die Öffnung darin ein Fenster ist, der Hohlweg aber dicht neben einem gähnenden Abgrunde eingeschnitten ist. Wir blicken hinab in ein Chaos von Wildnis, wo tausend Vorsprünge von einfarbig gelbem Löß ebenso viele unzugängliche Schluchten trennen

(s. Abbildung, S. 10). Gehen wir weiter in dem Hohlwege, so führt er vielleicht steil hinab oder hinauf, plötzlich endigen die Wände zu beiden Seiten, die Straße betritt einen engen Grat, auf dem wenig Raum außer für sie ist, und zu beiden Seiten gähnen gelbe Abgründe in endloser Verzweigung.

„Millionen von Menschen wohnen in den Nordprovinzen Chinas in Höhlen, welche sie im Löß ausgegraben haben. Sie werden am Fuße der Lößwände, wo diese in die Thäler oder auf die Abstufungen von Terrassen abfallen, angebracht. Die Erfahrung hat gelehrt, diejenigen Wände zu erkennen, welche größern Bestand haben. Die Höhlung wird vom Boden aus horizontal in den Löß hineingetrieben, so zwar, daß der Eingang die Größe der Thür hat und zu dessen Seiten, indem sich der Raum nach innen ausdehnt, Mauern von Löß stehen bleiben. Die meisten Wohnungen bestehen aus mehreren Räumen, von denen nur einer eine Thür hat, während von den andern nur Fenster durch die dünne Lößwand nach außen führen. Aus den zerreiblichen Mergelknauern wird ein Zement bereitet, mit welchem die innern Wände sowie die Seiten von Fenstern und Thüren ausgestrichen werden. Er sichert Festigkeit und Trockenheit und trägt zu dem behaglichen Charakter der Wohnungen bei. Manche derselben hat Jahrhunderte hindurch derselben Familie zum Wohnsitze gedient. An den Grenzen der Mongolei in großen Teilen von Tschili, Schansi und Schensi begegnet man täglich derartigen Ansiedelungen. Es kommt vor, daß man in einem fruchtbaren, reich angebauten Thalboden nicht ein einziges Haus sieht. Vergebens fragt man sich, wo die Bewohner, welche diese Arbeit verrichtet haben, leben, bis man an die Lößwand herantritt, die das Thal seitlich begrenzt. Hier wimmelt es wie in einem aufgestörten Bienenschwarme; überall strömen Menschen aus dem Innern der gelben Erdwände heraus.“ (S. Abbildung, S. 464.)

In keinem andern Lande der Erde erreicht der Löß auch nur annähernd so große Mächtigkeit und Bedeutung wie in China; in allen andern Gegenden seines Auftretens, im Rheinthale, in der Donauniederung und einer Menge andrer Punkte, ist seine Entwickelung eine sehr viel geringere, und damit verwischen sich auch die auffallendsten Züge der Lößlandschaft; doch bleibt überall dieselbe Neigung zur Bildung fast senkrechter Abstürze, Schluchten und Hohlwege.

Thalterrassen.

Wir haben in einer Reihe sehr verschiedener Beispiele die abtragende Arbeit des Wassers verfolgt, wie sie in erster Linie in der Ausnagung der Thäler und, von dieser Basis ausgehend, in der Zerstörung der Gebirge sich kundgibt. Diese Thätigkeit geht aber nicht in gleichem oder regelmäßigem Tempo vor sich, sondern aus Gründen, die uns in vieler Hinsicht noch sehr unklar sind, wechseln Perioden raschern Fortschrittes mit solchen langsamerer Arbeit ab, wie das vor allem aus einer außerordentlich verbreiteten Erscheinung hervorgeht, die schon mehrfach beiläufig erwähnt wurde: aus dem Auftreten der Terrassen an den Flußthälern. Diese *Flußterrassen*, welche zu beiden Seiten eines Wasserlaufes auftreten und denselben begleiten, haben natürlich nichts gemein mit den Erosionsterrassen, in denen sich die einzelnen Terrainstufen eines Plateaulandes übereinander aufbauen, wie wir sie z. B. auf der Schwäbisch-Fränkischen Alb kennen gelernt haben, und wie wir sie bei der Darstellung der Sahara wieder antreffen werden; auch mit den Terrassen an den Lößschluchten Chinas haben sie nichts gemein.

Jede Flußterrasse ist, allgemein gesagt, der Rest *eines ehemaligen Thalbodens*, welcher dadurch zerstört worden ist, daß der Fluß durch Einschneiden in die Unterlage sein Bett tiefer gelegt hat. Sehr auffallend treten z. B. solche Terrassen in den Alpen, im Unterinnthale und in vielen seiner Seitenthäler auf. Bei Hall, unterhalb Innsbruck, erhebt sich z. B. über der Thalsohle beiderseits ziemlich steil ein waldiges Gehänge; ist man hier etwa 350 m hoch

angestiegen, so erreicht man eine breite, ebene Fläche, auf welcher mehrere Ortschaften mit ihren Feldern liegen, und erst hinter diesem „Mittelgebirge" steigen die hohen Ketten der ältern Gesteine an (s. untenstehende Abbildung). Die Terrasse besteht aus Geröllen, Sand und Thon, welche der Inn während der Diluvialzeit durch Umschwemmung von Moränenschutt der Glazialperiode abgelagert hat; damals war das Bett des Inn etwa 350 m höher als heute, ein zusammenhängender Thalboden erstreckte sich von dem Schiefergebirge im Süden bis zum Kalkgebirge im Norden, in dessen Mitte der Fluß sich bewegte. Später begann derselbe sein Bett auszutiefen bis auf das heutige Niveau herab, durch Unterwaschung der



Das „Mittelgebirge" am Fuße der Kalkberge bei Hall in Tirol.

Ränder breitete er sein Thal aus, die Terrassen zu beiden Seiten sind die stehen gebliebenen Reste jenes alten diluvialen Thalbodens.

Die Terrassen bestehen nicht immer nur aus alten Flußablagerungen, sehr oft sind sie in den festen Fels eingegraben und entweder gar nicht mehr oder nur an ihrer Oberfläche mit Flußabsätzen bestreut. Oft auch sieht man deren nicht nur eine, sondern mehrere übereinander, die dann die Reste verschiedener Thalsohlen darstellen, welche der Fluß einst eingenommen hat; jede derselben gibt uns Nachricht von einer Pause, von einer Periode des Stillstandes in der Austiefung des Bettes. Diese beiden Verhältnisse werden in ausgezeichnetster Weise durch die Abbildung, S. 467, erläutert, welche die Terrassen des Fraserflusses in Columbia (Westküste von Britisch-Nordamerika) zeigt. Nicht überall treten natürlich die Flußterrassen so großartig entwickelt und so deutlich auf; häufig sind es nur verhältnismäßig niedere und etwas verwaschene Stufen, aber doch sehr charakteristisch in ihrer Form, so daß sie bei einiger Aufmerksamkeit sofort zu erkennen sind. Selbst innerhalb großer Städte ist es leicht, diese die Flüsse begleitenden Steilränder in dem Gewirre der Straßen



Terrassen des Fraserflusses in Columbia (Nordamerika). Vgl. Text, S. 466.

zu verfolgen, wenn auch von den Einwohnern sich nur sehr wenige Rechenschaft geben mögen, warum an einer Stelle das Niveau sich plötzlich erhebt.

Besonders lehrreich und schön entwickelt sind die Terrassen in den höhern Thälern der Alpen; steigt man in einem derselben empor, so findet man ziemlich ebenen Boden, dann folgt eine steilere Stufe, dann wieder flaches Terrain, und so erhebt man sich über eine Reihe von Terrassen, welche hintereinander aufsteigen. Aber nicht nur in dem Längsprofile machen sich dieselben geltend, sondern sie erscheinen auch alle an den Seitenwänden der untern Thalstrecke übereinander, indem jede der Stufen von dem Punkte an, wo sie in einem Steilrande aufhört und nicht mehr den Thalboden erfüllt, sich doch noch in Längsterrassen oft mehr, oft weniger deutlich an den Seitenwänden thalabwärts fortsetzt. Es geht daraus hervor, daß jede der Terrassen ursprünglich ein einheitlich sich fortsetzender Thalboden war, in welchen dann der Fluß sein Bett tiefer einnagte. Von besonderm Interesse ist dabei die Thatsache, daß, wie es scheint, in jedem der größern Thalsysteme die Zahl und Höhenlage der Terrassen sich durch alle Thalverzweigungen gleichbleiben, daß dagegen verschiedene Thalsysteme darin ungleich entwickelt sind. Allerdings sind die Untersuchungen noch nicht weit genug fortgeschritten, um diese Sätze mit Bestimmtheit als allgemein gültig aussprechen zu können; allein soweit die Beobachtung reicht, sehen wir dieselben bestätigt. Es sind hier namentlich die Untersuchungen von Bodmer, Heim und Stapff in der Schweiz von Bedeutung, welchen noch eine Reihe von Beobachtungen aus andern Teilen der Alpen anzufügen sind. So hat z. B. Heim gezeigt, daß in einigen benachbarten Thalsystemen die einzelnen Terrassen in den verschiedensten Teilen in folgenden Höhen liegen:

Terrassen	Reußgebiet Meter	Höhe des Absturzes Meter	Linthgebiet Meter	Höhe des Absturzes Meter	Rheingebiet Meter	Höhe des Absturzes Meter
Erste Terrasse	450— 550		600— 800		700—1000	
		350		450		550
Zweite Terrasse	600— 700		1000—1300		1300—1500	
		450		750		450
Dritte Terrasse	1000—1200		1800–2000		1800—1900	
		350		550		200
Vierte Terrasse	1300—1600		2400—2500		2000—2100	
		500		450		350
Fünfte Terrasse	1900—2000		2800—3000		2400	

So klar und deutlich der Terrassenbau der meisten Flußthäler vor Augen liegt, so schwierig ist es, die Entstehung dieser Erscheinung zu erklären. Im allgemeinen kann man allerdings sagen, daß jede Terrasse einem Stillstande in der Thalbildung oder selbst einer Zuschüttung des schon ausgetieften Bettes entspricht; aber welcher Art die Kräfte sind, welche solche Verzögerungen der Thalbildung hervorbringen, ist eine sehr schwierige Frage. Übrigens ist in neuerer Zeit versucht worden, selbst die Terrassierung der Alpenthäler auf die Wirkung stehenden Wassers zurückzuführen. Stapff hat namentlich auf Grund seiner Untersuchungen im Thale des Tessin darzuthun versucht, daß die dortigen Terrassen vom Meere gebildet seien; er nimmt an, daß das Alpengebiet mit dem Beginne der Pliocänzeit aus dem Meere senkrecht aufgestiegen sei, und daß während einzelner Unterbrechungen dieser Bewegung die Wirkung des Meeres auf die Küste die Terrassen hervorgebracht habe. So schön auch diese Idee von dem trefflichen Beobachter durchgeführt ist, so sprechen doch das Fehlen aller Reste von jungtertiären Meerestieren in den Hochthälern der Alpen und die ungleiche Höhe der Terrassen in verschiedenen Thalsystemen entschieden gegen eine solche Annahme.

Wenn wir die Terrassenbildung durch die Wirkung fließenden Wassers erklären wollen, so müssen wir uns davor hüten, alle derartigen Vorkommnisse in einerlei Weise zu deuten.

Treten durch irgend eine Ursache periodische Änderungen in der Kraftentfaltung eines Flusses ein, so wird dadurch Terrassenbildung hervorgerufen; es muß daher so viele verschiedene Ursachen der Terrassenbildung geben, als es Faktoren gibt, welche solche periodische Änderungen in der Wirkung der Flüsse bedingen.

Als eine sehr allgemein verbreitete Ursache dieser Art müssen in erster Linie die Änderungen im gegenseitigen Stande von Festland und Meer gelten, mag man nun dabei an säkulare Hebungen und Senkungen der Landmassen oder an Schwankungen des Meeresspiegels denken. Tritt eine sogenannte Senkung des Landes ein, so wird natürlich dadurch eine Verminderung im Gefälle aller Flüsse hervorgebracht, die Erosion kommt in höhern Regionen ins Stocken, in tiefern wird eine Aufschüttung von Sediment, eine Erhöhung des Flußbettes eintreten. Bei einer Hebung oder einem Sinken des Wasserspiegels wird umgekehrt das Gefälle vermehrt und eine allgemeine Austiefung der Thäler erfolgen. Ein ausgezeichnetes Beispiel für diesen letztern Vorgang haben wir in einem frühern Abschnitte bei Besprechung der alten Strandlinien Skandinaviens und ihres Zusammenhanges mit den dortigen Flußterrassen kennen gelernt, und sicher kann eine große Anzahl von analogen Vorkommnissen so erklärt werden. Man würde aber sehr irren, wenn man in diesen Vorgängen die allgemeine Ursache der Terrassenbildung suchen wollte. Denken wir z. B., daß heute die Nordsee um 50 m ansteigen würde, so würde das doch ganz sicher auf das Wassergebiet des Rheines in den Alpen nicht den geringsten Einfluß ausüben, oberhalb der Stromschnellen im rheinischen Schiefergebirge und oberhalb Basel wäre kaum eine Wirkung bemerkbar, und vollends jenseit des Schaffhausener Rheinfalles und des Bodensees wäre das gewiß nicht der Fall. Eine Hebung des Landes, ein Sinken des Wasserspiegels würde von noch geringerm Einflusse sein, da hierdurch bei der unerheblichen Neigung des Bodens der Nordsee eine kaum merkliche Änderung im Gefälle des Rheines bewirkt würde. Ebenso würde z. B. das Gebiet des Inn von gleichgroßen Veränderungen im Schwarzen Meere sicherlich nicht berührt.

Denken wir uns anderseits ein Gebirge, welches langsam und allmählich aufgerichtet wird, so werden den Ruhepausen in der Bewegung Stillstände in der Thalbildung, also Terrassen, entsprechen, während mit einer Erneuerung der Aufrichtung ein erneuertes Einschneiden der Thäler Hand in Hand gehen wird. Anderseits wird in einem einzelnen Thale eine sehr feste, der Verwitterung widerstehende Gesteinsbank, welche quer zu dessen Erstreckung durchstreicht, eine Verzögerung der Ausnagung und damit die Bildung einer Terrasse hervorbringen können, und derselbe Fall wird eintreten, wenn ein Thal durch einen beträchtlichen Bergsturz gesperrt wird, durch dessen Masse sich das Wasser allmählich Bahn brechen muß. Endlich werden meteorologische Verhältnisse einen sehr weitgehenden Einfluß ausüben müssen. Wenn in langen Zwischenräumen die mittlere jährliche Regenmenge eines Bezirkes sich ändert, das Klima feuchter oder trockner wird, so kommt dies natürlich auch in der Menge des ablaufenden Flußwassers zum Ausdrucke, und eine Periodizität in dieser Richtung, die wir namentlich für die Diluvialzeit anzunehmen alle Ursache haben, muß ebenso gut wie das Auftreten von Niveauschwankungen zur Terrassenbildung führen.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß gerade dieser letztere Faktor vielfach wirksam war; aber es muß für jeden einzelnen Fall oder wenigstens für jede Kategorie ganz gleichartiger Fälle der Einzeluntersuchung überlassen bleiben, die wirkende Ursache festzustellen. Es würde viel zu weit führen, hier auch nur die großen Hauptgruppen der Erscheinungen in Erwägung zu ziehen, und nur über eine derselben, über die alpinen Terrassen, mögen einige Bemerkungen angefügt werden, um an einem hervorragenden Beispiele die Art der Fragestellung kennen zu lernen.

Man hat die Bildung der Terrassen in den Alpen in erster Linie darauf zurückzuführen gesucht, daß festere Gesteinsbänke eine Verzögerung der Thalbildung hervorgerufen

haben; aber schon die einfache Thatsache, daß in den verschiedenen Verzweigungen eines ganzen Flußsystemes die Stufen in gleicher Höhe auftreten, widerlegt diese Annahme, ganz abgesehen von einer Menge von Einzelfällen, in welchen die Terrassen ganz unabhängig von der Härte und Widerstandskraft der Gesteine verlaufen. Ebenso widerspricht die gleichmäßige Höhe der Terrassen in verschiedenen Thälern der Annahme, daß sie der großen Mehrzahl nach durch Bergstürze abgedämmt seien. Von andrer Seite hat man an eine allgemeine Hebung der Alpen oder von ganz Europa gedacht, um eine Erklärung zu finden; aber auch damit stoßen wir auf unerwartete Schwierigkeiten. Daß erhebliche Schwankungen des Standes zwischen Land und Meer in den Alpen oder wenigstens in einem großen und mit Terrassen versehenen Teile derselben überhaupt ohne großen Einfluß wären, wurde schon hervorgehoben. Denkt man sich dagegen nur die Alpen gehoben, so fehlt es wieder an tektonischen Änderungen so jungen Alters im ganzen Umkreise des Gebirges, wie sie bemerkbar sein müßten, wenn wirklich die Terrassen auf diese Weise gebildet würden. Endlich ist der Umstand von großer Bedeutung, daß auch in den Alpen nicht nur Ruhepausen mit Zeiten rascher Erosion wechseln, sondern daß auch Perioden intensiver Aufschüttung eintreten, für welche man konsequenterweise Senkungen der Alpen annehmen müßte, wie das Penk für eine Reihe von Fällen gezeigt hat: „Nicht selten bilden die Gerölle vom Bette des Flusses bis zur Höhe der Terrassen eine einzige einheitliche Ablagerung, die Mächtigkeit des Gerölles ist der Höhe der Terrasse gleich. Unter diesen Umständen kann die Terrasse nicht als ein Überbleibsel angesehen werden, welches nur eine Ruhepause in der Thalbildung bezeichnet; sie kann nur in folgender Weise erklärt werden: das Thal war bis zu seiner heutigen Tiefe gebildet, dann begann der Fluß Gerölle anzuhäufen und sein Bett zuzuschütten bis zur Höhe der Terrasse; dann endlich tiefte er dasselbe wieder in den eben aufgeschütteten Thalboden ein.“ Das eben Gesagte gilt unter anderm von der gewaltigen Terrasse des Innthales, und hier darf infolgedessen die Idee als beseitigt gelten, daß Hebungserscheinungen im Alpengebiete die Ursache darstellen. Es bleibt somit immerhin noch am wahrscheinlichsten, daß das Hauptgewicht auf klimatische Änderungen gelegt werden muß, und daß namentlich mannigfache Schwankungen der Regenmenge während und nach der Eiszeit von großem Einflusse auf die Terrassenbildung waren.

Verlegung der Flußläufe.

Erscheinungen andrer Art als da, wo der Fluß in die Tiefe schneidet, treten in seinen untern Teilen auf, in welchen er ablagert. Daselbst findet zwar keine Aushöhlung in die Tiefe mehr statt, aber das Wasser kann noch seitwärts wirken; durch Unterwaschung der Ufer erfolgen Abstürze, das Bett wird erweitert und breitet sich aus. Man kann dabei zwischen zwei wesentlich verschiedenen Teilen des Bettes unterscheiden, der eigentlichen Stromrinne, in welcher das Wasser für gewöhnlich seinen Lauf nimmt, und dem Inundations- oder Überschwemmungsgebiete, welches nur beim Eintritte von Hochwassern überflutet erscheint. Um eine solche Ausbreitung des Bettes zu ermöglichen, ist es entschieden erforderlich, daß der Fluß mit der Zeit sein Bett seitlich verlege; das geschieht auch in der That vielfach und zum Teile in außerordentlich starkem Maße. Eine Ablenkung wird z. B. eintreten durch die Einwirkung eines seitwärts einmündenden Nebenflusses und der aus demselben sich ablagernden Sedimentmassen, durch welche der nächste Anlaß zur Bildung von Krümmungen und Serpentinen gegeben wird. In andern Fällen dagegen ist es sehr schwierig, sich Rechenschaft zu geben. So sieht man oft, daß ein Fluß die eine Seite seines Bettes verläßt und gegen die andre Seite hinüberdrängt, die dann durch steilern Abfall ihrer Ufer

gekennzeichnet ist. Die herrschende Windrichtung und ähnliche Ursachen mögen bei diesen Verschiebungen beteiligt sein, ohne daß dieselben aber in allen Fällen ausreichend erscheinen. Baer hat auf das eigentümliche Verhältnis bei den sibirischen Flüssen hingewiesen, daß die großen ins Eismeer mündenden Ströme vorzugsweise ihr rechtes östliches Ufer unterwaschen, und schrieb diese Erscheinung der Umdrehung der Erde um ihre Achse zu. Je näher ein Punkt dem Äquator liegt, um so rascher bewegt er sich bei der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Achse von Westen nach Osten; fließt demnach auf der nördlichen Halbkugel Wasser von Süden nach Norden ab, so bringt es eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit mit, es wird also von der rein nordsüdlichen Richtung etwas gegen Osten abzuweichen suchen und somit das rechte Ufer unterwaschen. Fließt das Wasser gegen Süden, so wird es gegen Westen, also wieder gegen das rechte Ufer, gedrängt, während auf der südlichen Halbkugel natürlich das umgekehrte Verhältnis herrscht. Das sogenannte Baer'sche Gesetz läßt sich daher in der Weise ausdrücken, daß die in der Richtung des Meridianes laufenden Flüsse auf der nördlichen Halbkugel ihr rechtes, auf der südlichen ihr linkes Ufer unterwaschen. In sehr vielen Fällen sehen wir diese Regel bestätigt, aber die Beobachtung ist doch noch nicht weit genug vorgeschritten, um eine allgemeine Gültigkeit zu erweisen, und anderseits hat die Berechnung gezeigt, daß die auf diese Weise bewirkte Ablenkung eine zu geringe ist, als daß ihr ein bedeutender Einfluß auf die Gestaltung der Ufer zukommen könne. Die Ansichten über die Berechtigung des Baer'schen Gesetzes sind daher noch sehr geteilt, und die Entscheidung muß noch eingehenden Untersuchungen überlassen bleiben.

Sehr groß sind die Veränderungen, welche im Unterlaufe vieler Flüsse vorkommen und Verlegungen der Mündungsstelle um mehr als 1000 km mit sich bringen können; das bekannteste Beispiel aus historischer Zeit bildet der Oxus oder Amu Darja, der früher von Chiwa aus gegen Südsüdwesten nach dem Kaspischen Meere abfloß und dieses in der Gegend von Krasnowodsk erreichte, während er heute eine nördliche Richtung nach dem Aralsee einschlägt. Auch jetzt versucht der Fluß bisweilen noch sein altes Bett wieder zu eröffnen, ohne daß es ihm jedoch gelingt, bis zum Kaspi vorzudringen. Ein andres Beispiel bietet der Hoangho oder Gelbe Fluß; unter furchtbaren Überschwemmungen und Verwüstungen in seinem Unterlaufe, welche ihm den Namen „der Kummer Chinas" verschafft haben, hat er mehrfach seinen Lauf verlegt. Die älteste Mündung, von der wir Nachricht haben, lag 700 km nördlich von derjenigen, durch welche der Fluß vom 13. Jahrhundert bis zum Jahre 1856 sich ins Meer ergoß. Seit dem Jahre 602 v. Chr. begann der Fluß unter vielen Schwankungen sein Bett nach Süden zu verschieben; von der Mündungsstelle, welche er seit etwa 600 Jahren innegehabt hatte, kehrte er unter Durchbrechung kolossaler Dammbauten und unter entsetzlichen Verwüstungen, bei welchen ungezählte Menschenleben verloren gingen und Bauwerke und Kulturen vernichtet wurden, nach Norden zurück, um sich im Jahre 1874 wieder ohne erkennbare Ursache dem südlichen Bette zuzuwenden. Sehr bedeutende Verschiebungen haben die Flüsse Norddeutschlands in vorhistorischen Zeiten, während der Diluvialperiode, erlitten; wie Berendt gezeigt hat, floß damals die Oder, statt nach Norden umzubiegen, in direkter nordwestlicher Verlängerung ihres Laufes von Schlesien her über Berlin der Elbe zu, während die Weichsel sich nicht in das Frische Haff, sondern durch das Thal der Netze und Warthe und durch das jetzige untere Oderthal in die Ostsee ergoß. Der untere Niemen gelangte nicht in das Kurische, sondern durch das heutige Inster- und Pregelthal ins Frische Haff. In Sachsen floß die Mulde von Grimma aus über Leipzig in das Saalthal ab.

Ablagerungen aus fließendem Wasser.

Wenn ein mit festen Teilen beladener Fluß in eine Thalstrecke gelangt, in welcher das Gefälle geringer, der Lauf des Wassers verzögert wird, so hat er nicht mehr die Kraft, seine Last weiterzubefördern, er läßt sie ganz oder zum Teile zu Boden sinken, wo sie nun Ablagerungen bildet. Geht dieser Prozeß langsam und allmählich auf einer großen Thalstrecke vor sich, dann entstehen weit ausgedehnte, annähernd horizontale Schichten von Schlamm, Sand, Geröllen, welche oft miteinander wechsellagern, gewöhnlich jedoch nicht dieselbe Gleichmäßigkeit zeigen wie die Sedimente eines weiten Beckens mit stehendem



Die Sphinx von Gizeh in Ägypten.

Wasser. Durch häufig eintretende Änderungen und Störungen werden unregelmäßige Ablagerungsformen hervorgebracht; die größern Hauptbänke sind zwar horizontal abgegrenzt, innerhalb derselben aber sind dünnere Schichten abgesondert, die nur auf kurze Strecken parallel zu einander verlaufen und unter mannigfach wechselndem Winkel gegeneinander und gegen die Hauptrichtung der Bänke abstoßen. Diese Erscheinung, welche namentlich bei Sanden und den aus ihnen entstehenden Sandsteinen sehr verbreitet vorkommt, wird als falsche Schichtung bezeichnet. Wenn wir z. B. die bekannte Sphinx von Gizeh in Ägypten betrachten (s. obenstehende Abbildung), welche aus einer anstehenden Gesteinsmasse ausgemeißelt ist, so finden wir, daß ihr Hals durch eine Sandsteinbank gebildet ist, welche die falsche Schichtung in ausgezeichneter Weise zeigt. Ein andres, schönes Beispiel bietet die Abbildung, S. 473, einer Sandablagerung der Navajo-Church im westlichen Nordamerika. Das Auftreten dieser Strukturform gibt ein untrügliches Merkmal für die Thätigkeit fließenden Wassers, und die Beobachtung desselben bietet daher in vielen Fällen einen wichtigen Anhaltspunkt für die Beurteilung der Entstehungsweise der Gesteine.

Wenn das Gefälle eines Flusses nicht allmählich abnimmt, sondern eine rasche Änderung eintritt, durch welche er in seinem raschen Laufe gehemmt wird, dann entstehen nicht ausgebreitete Ablagerungen, sondern beschränkte, aber mächtige Anhäufungen des festen Materiales, welches nun nicht weitergeschafft werden kann. Solche Fälle treten z. B. ein, wenn ein rasch fließender Bergbach in die weite Anschwemmungsebene des Hauptstromes gelangt oder sich in einen See ergießt. Hier bilden sich Schuttkegel, wie wir solche an dem Fuße von Steinschlagrinnen kennen gelernt haben, nur mit dem Unterschiede, daß



Sandablagerung der Navajo-Church im westlichen Nordamerika. Vgl. Text, S. 472.

die Aufschüttungskegel des fließenden Wassers sehr viel flacher sind. Nur sehr reißende Bäche, die plötzlich von steilem Gehänge in eine Thalweitung hinaustreten, haben Kegel von mehr als 5° Oberflächenneigung; in der Regel ist diese bedeutend geringer, so daß man die Neigung erst beim Überblicke aus einiger Entfernung oder durch Nivellierungsarbeiten bemerkt.

Indem sich solche Schuttkegel und Ablagerungsmassen in Binnenseen vorschieben, gewinnen sie diesen Land ab und engen die Wasserfläche ein (s. Abbildung, S. 474). Eine Menge von Seen ist auf diese Art schon ganz ausgefüllt worden. Der Geolog erkennt diese alten Seeböden, die nun meist entweder Sümpfe, Torfmoore oder ebene Wiesen sind, aus den Formverhältnissen der Umgebung mit voller Sicherheit. An andern Seen kann man deutlich den Raum erkennen, welcher auf diese Weise allmählich zugeschüttet worden ist, und die rasche Vergrößerung der Anschwemmung gestattet in manchen Fällen, den nicht sehr fernen Zeitpunkt zu bestimmen, in welchem der See zu existieren aufhören wird.

Das Schwemmland, das ein Fluß an seiner Mündung durch Ablagerung fester Teile einem See oder dem Meere abgewinnt, wird als sein Delta bezeichnet. Wo der Nil bei Kairo

aus seinem engen Thale hervortritt und die ihn begleitenden Höhenzüge auf beiden Seiten zurückweichen, spaltet sich der Strom in mehrere Arme, die ein weites Schwemmland von dreieckigem Umrisse umspannen (s. Abbildung, S. 475). Die Spitze des Dreieckes liegt bei Kairo, seine Basis bildet die Meeresküste; die Griechen verglichen dieses weite Gebiet seiner Form wegen mit dem Buchstaben △ (Delta) ihres Alphabetes, und dieser Name wurde später auf alle Mündungsgebiete von dreieckiger Form übertragen, welche von verschiedenen Armen des Flusses umspannt werden. Jetzt aber versteht man unter Delta alles in der modernen Periode den stehenden Wassern durch Flußanschüttung abgewonnene Terrain.



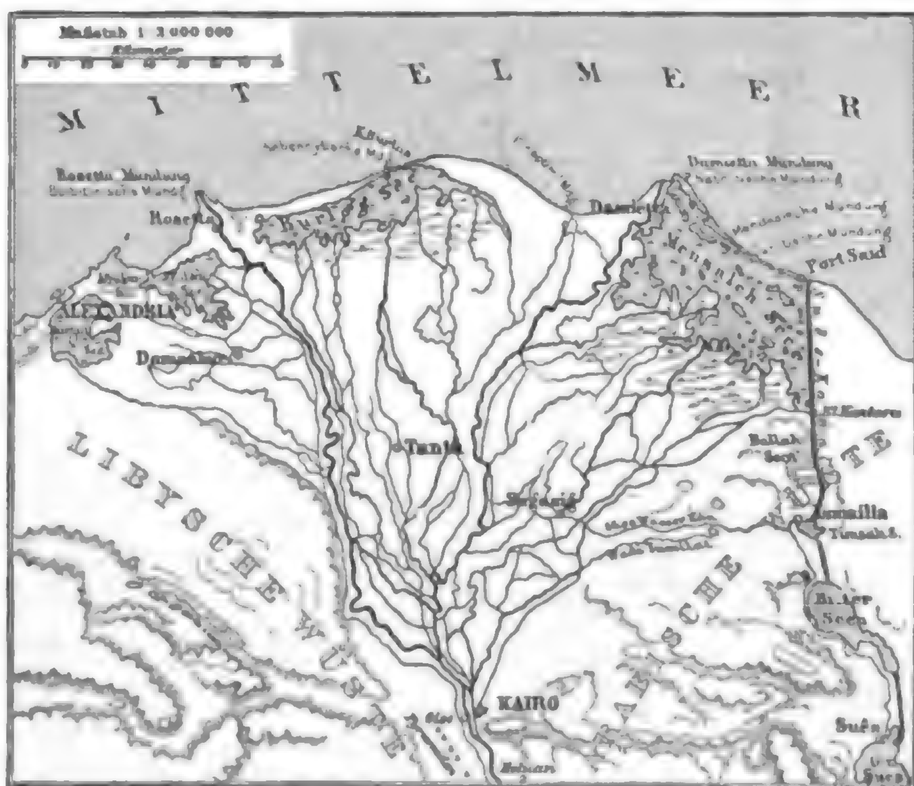
Der See von Silvaplana im Oberengadin, durch einen Schuttkegel eingeengt. Vgl. Text, S. 473.

An Ausdehnung und Bedeutung nach jeder Richtung sind die Deltas, welche ins Meer hinausgebaut werden, jenen der Binnenseen sehr überlegen. In solchen niedrigen, überaus fruchtbaren Mündungsgebieten am Nil, am Euphrat, am Ganges und Hoangho haben sich uralte Pflanzstätten menschlicher Kultur entwickelt, viele unter ihnen gehören noch heute zu den dichtest bevölkerten Strichen der Erde.

Manche Deltas springen über den übrigen Umriß der Küste gegen das Meer vor, wie das z. B. beim Po und Mississippi der Fall ist, andre halten sich genau im Profile der Küste, während wieder andre einspringende Winkel des Festlandes allmählich ausfüllen. In der Regel ist der Vorgang derart, daß zuerst eine solche einspringende Partie, welche mit schwach gesalzenem, sogenanntem brackigen Wasser angefüllt ist, ein Ästuarium, ausgefüllt und dann durch immer weitern Fortschritt der Ablagerung endlich ein vorspringendes Delta erzeugt wird, wobei allerdings der Vorgang sehr häufig durch widrige Verhältnisse, z. B. durch das Vorhandensein einer Küstenströmung, unterbrochen wird, ehe er in das letzte Stadium gelangt.

Durch die Anschwemmung wird das Bett des Flusses erhöht; es bilden sich zu seinen beiden Seiten Dämme, die aber namentlich in der ersten Zeit leicht durchbrochen werden. Durch derartige Ablagerung, Durchbrechung und Verlegung des Laufes im Mündungsgebiete werden sehr häufig mehr oder weniger zahlreiche Gabelungen des Flusses hervorgebracht, oder derselbe löst sich in ein unregelmäßiges Netzwerk von Armen auf, zwischen denen zahllose Inseln liegen, während andre Strecken, welche verhältnismäßig wenig Sediment erhalten, von den erhöhten Rändern der Flußarme ganz umgeben werden und als Binnenseen zurückbleiben.

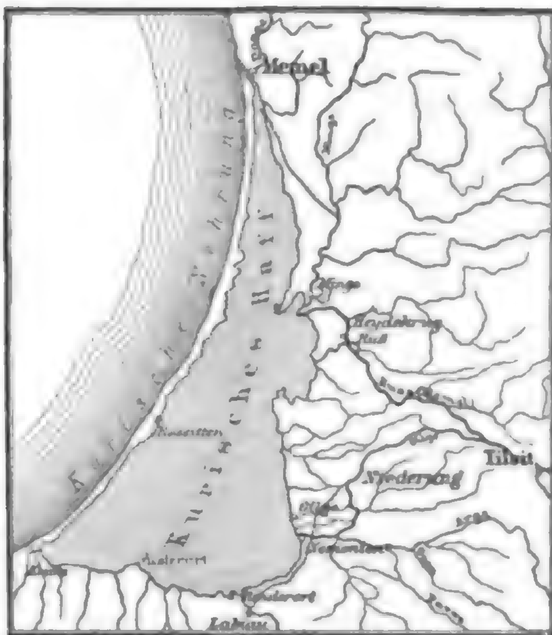
In hohem Grade wird die Deltabildung durch das Vorhandensein natürlicher Strandwälle befördert. Die Flut des Meeres wälzt Sand und Gerölle gegen die Ufer, und die Ebbe ist nicht immer im stande, dieselben wieder zurückzuführen; sie häufen sich dann in Form von Wällen an, welche nicht nur unmittelbar der Küste folgen, sondern da, wo sehr seichte Buchten gegen das Festland einspringen, auch diese Buchten eindämmen können. Dieser Vorgang macht sich besonders dann energisch geltend, wenn im Hintergrunde der Bucht ein Fluß einmündet, indem eine Menge fester Teile namentlich in demjenigen Striche niederfällt, in welchem die vom Meere her vordringende Flut und die vom Lande her wirkende Strömung des Flusses sich gegenseitig zum Stillstande bringen. Auf diese Weise bilden sich Lagunen, welche vom Meere nur durch schmale, von einzelnen engen Eingängen durchbrochene Landzungen getrennt sind. Die bekanntesten Beispiele bilden die „Haffe" (Lagunen) der Ostsee, welche durch die schmalen „Nehrungen" (Landzungen) vom Meere getrennt werden (s. Abbildung, S. 476), ferner die Etangs der französischen Küste, die Lagunen von Venedig, welche durch den „Lido" abgesperrt sind, die Limane im Schwarzen Meere ꝛc.



Das Delta des Nil. Vgl. Text, S. 474.

Innerhalb dieser von Nehrungen abgeschlossenen Lagunenbecken gehen natürlich die Ablagerungen von Sedimenten, die Deltabildung, in gesteigertem Maße vor sich. Ein ausgezeichnetes Beispiel eines durch solche Landzungen in seinem Umfange bedingten Delta ist das Mündungsgebiet des Nil in Unterägypten. Dieser gewaltige Schwemmlandbezirk von etwa 2200 qkm Oberfläche ist in der deutlichsten Weise gegen das Mittelmeer durch Nehrungen abgegrenzt, die hinter denselben gelegene gewaltige Lagune ist bis auf einige seichte, sumpfige Seen ausgefüllt, ein Vorbauen des Delta über den schützenden Gürtel der Strandwälle hat aber nur im allerbeschränktesten Maße stattgefunden. Ein andres Beispiel zeigt uns die venezianische Küste. Hier sind im Norden die Lagunen von Venedig und Chioggia durch den Strandwall des Lido vom Adriatischen Meere getrennt, im Süden liegen die

ähnlich abgegrenzten Lagunen von Comacchio, und zwischen beiden springt das Mündungsland der Etsch und des Po beträchtlich in das Meer vor (s. Abbildung, S. 477); quer durch dieses letztere aber zieht sich eine geradlinige Kette alter Dünenhügel, welche die direkte Verbindung zwischen dem Lido von Venedig und jenem von Comacchio herstellt und einen ehemaligen Uferwall vorstellt. Ursprünglich war also offenbar über die ganze Strecke hin eine zusammenhängende große Lagune vorhanden, deren Mitte Po und Etsch mit ihren Sedimentmassen ausfüllten, während der nördliche und südliche Teil durch die kleinern Flüsse, die hier einmünden, nicht verlandet werden konnte. Jene beiden großen Ströme dagegen bauen in verhältnismäßig raschem Tempo über den Strandwall hinaus und haben der offenen Adria schon ein beträchtliches Stück Land abgewonnen. Vom 13. bis 17. Jahrhundert rückte das Po-Delta jährlich um etwa 25 m vor, in neuerer Zeit, infolge der Flußregulierungsarbeiten und Dammbauten, sogar um etwa 70 m im Jahre, und der Landgewinn beträgt über 1 qkm jährlich. Als ein drittes Beispiel der Deltabildung mag der





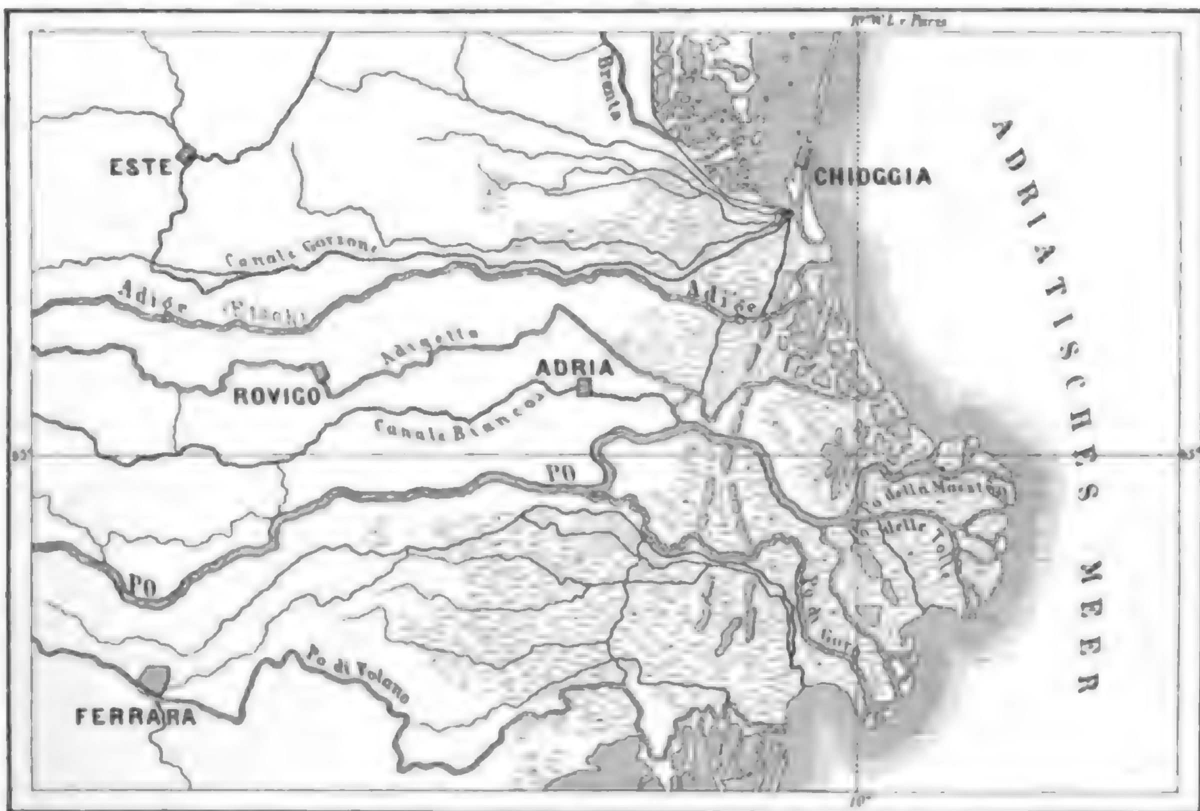
Das Kurische und das Frische Haff. Vgl. Text, S. 475.

Mississippi gelten, bei welchem wir keine Abhängigkeit von Nehrungs- und Lagunenbildung bemerken. Die riesigen Wassermassen des „Vaters der Ströme" führen eine außerordentlich große Menge fester Teile ins Meer, welche auf 28 Millionen Kubikmeter im Jahre geschätzt werden. Er hat ein mächtiges, breites Delta in den Golf von Mexiko gebaut, dessen Größe etwa 3200 qkm beträgt. Mehrere kleinere Arme, dort Bayou genannt, zweigen sich von dem Hauptstrome ab, dieser selbst aber schiebt sein Schwemmland in einer sehr eigentümlichen Weise vor; er hat zu seinen beiden Seiten einen verhältnismäßig schmalen Damm ins Meer hinausgebaut, dann gabelt er sich in drei Arme, die sogenannten Päffe, von denen jeder wieder von ähnlichen Dämmen eingesäumt ist, welche der Fluß fortwährend durch Anschwemmung erhöht und weiter vorschiebt (s. Abbildung, S. 478).

So gewaltig diese Anschwemmungen am Nil und Mississippi sind, so werden sie doch durch diejenigen der asiatischen Riesenströme noch bedeutend übertroffen; die vereinigten Mündungen des Ganges und Brahmaputra haben ein Delta von mehr als 8000 qkm, und noch bedeutend größer ist dasjenige des Hoangho in China, des sedimentreichsten unter den großen Strömen der Erde, welcher mit seinen fahlen Fluten dem Gelben Meere Farbe und Namen gegeben hat.

Aber nicht alle Flüsse, welche sich ins Meer ergießen, gewinnen diesem durch Anschwemmung Land ab und bauen Deltas, auch wenn sie große Mengen von festen Teilen mit sich führen. Viele bedeutende Ströme bewirken nicht nur keine Vorschiebung des Landes, sondern besitzen im Gegenteile eine bedeutend erweiterte und trompetenförmig gestaltete Mündung. Weit hinauf macht sich dann namentlich in solchen Flüssen die Wirkung von Ebbe und Flut geltend. Elbe, Weser, Themse, Gironde, Seine und Tejo in Europa, Ob und Jenissei in Nordasien, der Kongo in Afrika, Lorenzstrom und Marañon in Amerika sind ausgezeichnete Beispiele dieser Mündungsform.

Die Frage, welche Ursachen in einem Falle eine einfache, im andern eine Trompetenmündung, im dritten Deltabildung veranlassen, ist noch nicht endgültig gelöst. Der Grund

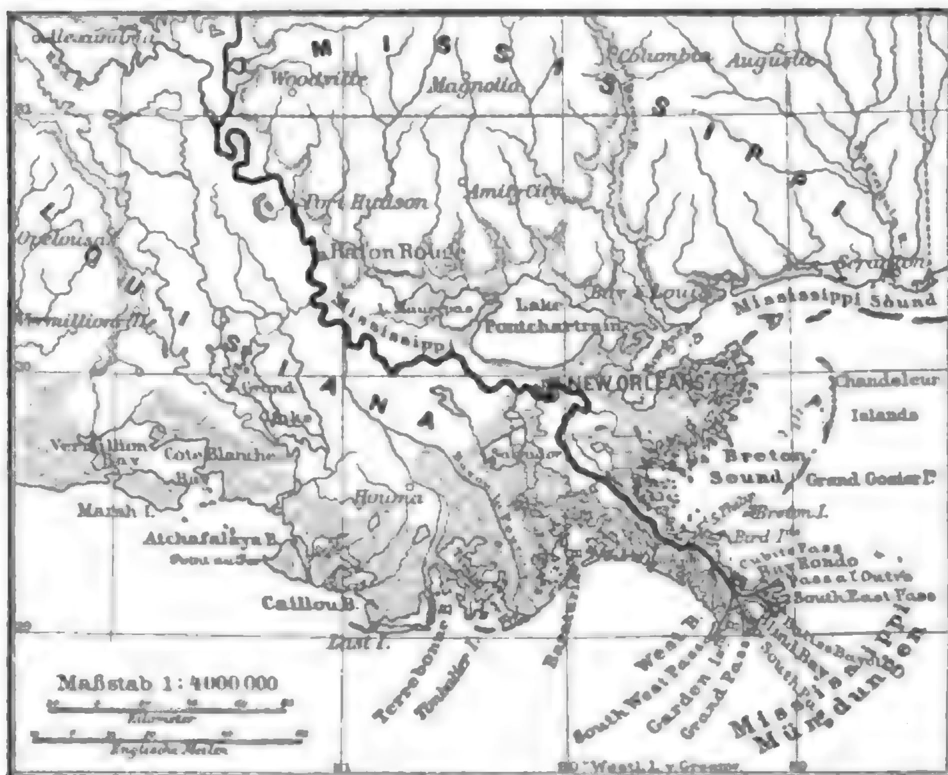


Das Delta des Po. Vgl. Text, S. 476.

hierfür liegt jedoch nicht etwa in dem Wirken eines noch unbekannten und rätselhaften Faktors, sondern lediglich darin, daß man in der Regel für die Gesamtheit aller der Erscheinungen nach einer gemeinsamen Ursache zu suchen pflegt und glaubt, sie alle aus einem einfachen Prinzipe erklären zu können, während in Wirklichkeit eine Menge sehr verschiedenartiger Vorgänge ihren Einfluß ausüben und eine und dieselbe Erscheinung durch ganz verschiedene Ursachen bedingt werden kann. So kann z. B. der Mangel von Delta-Anschwemmungen davon herrühren, daß der Fluß zu träges Gefälle hat und daher seine festen Teile schon abgelagert hat, ehe er das Meer erreicht. In derselben Weise jedoch wird auch zu rasches Gefälle die Deltabildung unmöglich machen, indem dann das schlammbeladene Süßwasser sehr weit ins Meer hinausfließt und den Schlamm mit hinausträgt. Wieder in einem andern Falle wird die Vorschiebung des Landes dadurch verhindert, daß der Fluß, kurz ehe er das Meer erreicht, einen Binnensee passiert und daselbst seine schwebenden Teile abgesetzt hat, wie das z. B. beim Lorenzstrome zu sehen ist. Auch das Relief des Meeresbodens an der Mündung eines Flusses ist von großer Wichtigkeit; an einer Flachküste wird die Deltabildung viel leichter vor sich gehen als an einer Steilküste, aber auch an dieser ist sie durchaus nicht unmöglich, wenn reichlich Sediment zugeführt wird.

Von Bedeutung ist ferner die Einwirkung von Ebbe und Flut, welche wohl in der Mehrzahl der Fälle der Deltabildung entgegenwirken, wie vor allem aus dem Umstande hervorgeht, daß in Binnenmeeren mit sehr schwachen Gezeiten die Deltas sehr viel häufiger sind als an offenen Meeresküsten. Umgekehrt läßt sich aber auch der Fall sehr wohl denken, daß ein Fluß, welcher sonst zur Deltabildung zu rasch fließen würde, durch die stauende Wirkung der in seine Mündung eindringenden Flutwelle gezwungen wird, seine festen Teile fallen zu lassen.

Endlich hat man auch dem Einflusse von Hebung und Senkung des Landes oder von Schwankungen des Meeresspiegels große, ja vor allem entscheidende Wirkung beigemessen in der Weise, daß Deltabildung nur an sich hebenden Küsten vorkommen soll, während an untersinkenden Strichen zwar auch Sedimente zur Ablagerung gelangen, aber untermeerisch bleiben. Allein auch solchen Änderungen können wir keinen entscheidenden Einfluß zugestehen; in erster Linie sind die Angaben, die man in der Regel über Schwankungen der Strandlinie vorfindet, so unzuverlässig, und man ist gerade in dem gleitenden Schwemmlande so vielen Täuschungen in dieser Richtung ausgesetzt, daß man die thatsächliche Grundlage für solche Spekulationen als ungenügend bezeichnen muß; vor allem aber läßt diese Hypothese die auffallende Häufigkeit der Deltas in Binnenmeeren unerklärt.



Das Delta des Mississippi. Vgl. Text, S. 476.

Keine der gewöhnlich angeführten Ursachen kann daher als entscheidend angesehen werden; jede einzelne Flußmündung oder wenigstens jede einzelne Gruppe nahe bei einander gelegener und einander sehr ähnlicher Mündungen muß eingehend an Ort und Stelle untersucht werden, ehe man allgemeinere Folgerungen ableiten kann. Bis dahin müssen wir uns damit begnügen, zu sagen, daß auf die geschilderten Erscheinungen eine Menge sehr verschiedener Faktoren einwirken, die wir der Hauptsache nach kennen, deren Bedeutung wir aber im einzelnen noch nicht zu überblicken vermögen.

Zerstörende Wirkung des Meeres.

Gänzlich verschieden von der Art und Weise, in welcher fließendes Wasser die Gesteine angreift, ist die Einwirkung der stehenden Wasser und speziell diejenige des **Meeres**. Es ist ein verhältnismäßig sehr kleiner Raum, auf welchen sich dessen Thätigkeit beschränkt; wo das Wasser einigermaßen tief ist, da zeigt es keinerlei Bewegung, welche geeignet wäre, eine

erodierende Wirkung hervorzubringen, sondern lagert Sedimente ab; zerstörend tritt es nur an seiner Oberfläche an dem äußerst schmalen Gürtel auf, in welchem es brandend seine Ufer peitscht, wenn die steigende Flut oder der Wind seine Wellen emportreibt. Auch hier ist an allen Flachküsten die Wirkung eine sehr geringe; nur wo der Uferrand steil unter dem Wasserspiegel abstürzt, da kann es seine zertrümmernden Kräfte entwickeln, die in der That stellenweise ganz riesige Leistungen aufzuweisen haben (s. untenstehende Abbildung und S. 481). Es ist bekannt, daß z. B. Helgoland in früherer Zeit sehr viel größer war als heute, und daß das Meer bei wiederholten Sturmfluten große Stücke von seinen Rändern losgerissen



Meeresstrand bei Porto Venere (Ligurien).

hat; heute ist die Insel vielfach kleiner, als sie vor 1000 Jahren war, wenn auch in den alten Darstellungen manche grobe Übertreibungen vorhanden sein mögen. Auch an einigen Küstenstrichen von England und der Normandie werden fast jährlich beträchtliche Schollen losgerissen, und stellenweise ist der Landverlust kein geringer; an der Küste von Suffolk rückte z. B. das Meer in den Jahren 1824—29 um 16 m landeinwärts vor. Das sind jedoch seltene Ausnahmen, gewöhnlich handelt es sich dabei um Steilküsten, welche lokal in hohem Grade zerklüftet und von sehr zahlreichen Spalten durchsetzt sind, so daß das Felsgefüge schon gelockert und dem Angriffe des Meeres in ausgiebigster Weise vorgearbeitet ist. Ebenso verfallen die lockern Aufschüttungen neuentstandener Vulkaninseln, welche sehr wenig innern Halt und Zusammenhang besitzen, in der Regel sehr rasch der zerstörenden Gewalt der Wogen (s. Abbildung, S. 480).

In der That ist die Kraft, welche die Wellen ausüben, eine außerordentlich große, so daß sie bei heftigen Stürmen Felsblöcke von mehr als 100 Zentner Gewicht zu bewegen und



Küste der Insel Jan Mayen. Vgl. Text, S. 479.

zu rollen vermögen. Trotzdem ist, von Ausnahmefällen der eben genannten Art abgesehen, ihre Wirkung unter normalen Verhältnissen keine sehr bedeutende zu nennen, und wenn wir das, was das Meer in einem Jahre von seinen Gestaden loszureißen im stande ist, mit jenen Massen unmittelbar vergleichen könnten, welche die Erosion durch fließendes Wasser auf allen Kontinenten zerstört und in zerkleinertem Zustande ins Meer führt, so würde sich unzweifelhaft ergeben, daß die Wirkung des fließenden Wassers eine sehr viel mächtigere ist.

Das Meer erodiert an steilen Felsküsten in dem ganzen Raume, an welchem es brandet, d. h. von dem Stande der tiefsten Ebbe bis empor zu der Linie, bis zu welcher es bei den höchsten Sturmfluten seine Wellen noch emporschleudert, am stärksten jedoch zwischen der



Meeresstrand bei Capri. Vgl. Text, S. 479.

halben Fluthöhe und der obern Brandungsgrenze; hier nagt es das Gestein unmittelbar aus und erzeugt dadurch eine Höhlung, eine konkave Fläche, welche gegen das Land einspringt. Dringt nun diese Ausnagung tiefer und tiefer ein, so verlieren die höher gelegenen Massen, welche das Wasser nicht mehr erreicht, ihre Stütze und Unterlage und brechen herab. Das Meer wirkt also mittelbar auch auf die Teile des Absturzes, welche es nicht berührt, und erzeugt auf diese Weise die senkrecht abstürzenden Uferklippen, welche seine Gestade vielfach umsäumen. Indem nun die Wogen immer weiter landeinwärts nagen und die höher gelegenen Teile entfernen, die unterhalb gelegenen Partien, welche ständig vom Wasser bedeckt sind, verschonen und auch diejenigen nur wenig angreifen, welche nur bei tiefer Ebbe frei gelegt werden, bildet sich am Fuße der Klippen eine fast horizontale, nur wenig landeinwärts ansteigende Plattform. Durch das Auftreten dieser Fläche wird eine Veränderung und Verzögerung in dem Gange des Zerstörungsprozesses herbeigeführt. Wenn unterwaschene

und ihrer Stützen beraubte Massen von oben herabbrechen, so stürzen sie nicht mehr in tiefes Meer, sondern bleiben auf der Plattform aufgehäuft liegen und bilden eine Schutzwehr für die dahinterliegende Klippe (s. untenstehende Abbildung); die Brandung verbraucht nun ihre Kraft, indem sie die Blöcke und Trümmer herumwälzt, abrollt, zerkleinert und zu feinem Sande zerreibt, und erst, wenn die heruntergestürzten Massen der Hauptsache nach weggeräumt sind, kann die Zerstörung der dahinterliegenden Steilwand wieder beginnen. Man hat dieses Verhalten sogar praktisch benutzt, um dem Fortschritte des Meeres ein Hindernis entgegenzusetzen: an der Shakespeare-Klippe bei Dover z. B. hat man mit riesigen Pulvermengen den obern Teil der Klippe weggesprengt und ins Meer hinuntergestürzt, wo nun diese gewaltigen Massen von Felsblöcken auf Jahrhunderte hinaus dem weitern Fortschritte der Überflutung ein Hemmnis entgegensetzen.



Meeresstrand bei Sorrento.

Abgesehen von solchen periodischen Unterbrechungen, wird die Erosion aber auch allein durch das Vorhandensein der Küstenplattform in ihrer Macht gemindert, da die Wellen die geneigte Fläche hinauflaufen müssen und dabei an Kraft verlieren, ehe sie den Steilrand erreichen; und mit der fortwährenden Ausdehnung der Plattform wird endlich ein Punkt erreicht, wo jede weitere Zerstörung aufhört. Es geht daraus hervor, daß bei vollständig gleichbleibendem Niveau des Meeresspiegels ein Stand eintreten würde, wo an allen Steilrändern die Erosion aufhören müßte, daß also nur ein verhältnismäßig schmaler Strich an allen Küsten zerstört werden könnte, wenn nicht durch Veränderungen im gegenseitigen Stande von Land und Meer neue Angriffspunkte geschaffen werden.

Bei einer solchen Verschiebung wird die Zerstörung der Ufer eigentümlich modifiziert

werden; steigt eine Küste langsam und allmählich aus dem sinkenden Meeresspiegel hervor, so kann während der Dauer dieser Bewegung keine bleibende Brandungsterrasse gebildet werden. Es wird eine solche sich zeitweilig bilden, aber in dem Maße, als die Bewegung fortdauert, wird sie auch immer wieder zerstört werden. Vorausgesetzt, daß die Verschiebung gleichartig fortgeht, daß die Verhältnisse der Brandung sich nicht ändern und das Gestein dasselbe bleibt, wird mit dem Aufsteigen der Küste ihr Rand gleichmäßig abgehobelt werden; nur in Ruhepausen wird eine stärkere Plattformbildung stattfinden, und wenn dann die Bewegung wieder beginnt, wird diese als sogenannte gehobene Strandlinie über dem Meeresniveau zu sehen sein, wie wir deren Auftreten früher (S. 350) kennen gelernt haben.

Wichtiger und tiefgreifender sind die Veränderungen, welche die Brandung im entgegengesetzten Falle, bei positiver Verschiebung der Strandlinien hervorbringt, wenn das Land sich senkt und der Meeresspiegel ansteigt. Dann wird das Hindernis, welches die Bildung einer breiten Küstenplattform dem Vordringen der Zerstörung ins Innere des Landes entgegensetzt, durch die Senkung, durch das fortwährende Untertauchen hinweggeräumt, und die Brandung kann daher ungehemmt vorrücken. Findet die Untertauchung des Landes langsam genug statt, so kann das Meer bei seinem Vordringen alle Unebenheiten, selbst namhafte Gebirge, vollständig abhobeln, und es wird an deren Stelle eine langsam ansteigende Fläche gebildet werden. Auf dieser Fläche wird aber ein großer Teil des durch die Zerstörung der Gesteine entstehenden Materiales liegen bleiben, und es werden sich übergreifend gelagerte, vollständig oder nahezu horizontale Schichten bilden. Ramsay hat wohl zuerst auf die Bedeutung dieser Vorgänge hingewiesen, und eine Zeitlang war man, namentlich in England, geneigt, ziemlich jeden im Inlande auftretenden Erosionssteilrand und die Bildung der ihm vorliegenden Fläche der Abtragung durch Meeresbrandung zuzuschreiben. Später wurde diese Ansicht verlassen, bis in neuerer Zeit von Richthofen bei seinen Untersuchungen über China auf Verhältnisse traf, welche keine andre Erklärung zulassen, und daher wieder auf die Bedeutung dieses Vorganges hinwies, den er als Abrasion bezeichnete. Seine Auffassung, welche für die Deutung sehr wichtiger und verbreiteter Erscheinungen von maßgebender Bedeutung ist, wird wohl am besten durch die eignen Worte klar gemacht:

„Unter den gestaltenden Faktoren, welche in der geologischen Geschichte des nördlichen China eine bedeutsame Rolle spielen, zeichnet sich in besonderer Weise das periodische Auftreten transgredierender Lagerung aus. In der Mehrzahl der Fälle sind die Schichten der übergreifenden Formation nicht, wie man es bei der Ausbreitung des Meeres über Festland erwarten sollte, einem gebirgigen, aus Höhenzügen und Erosionsthälern bestehenden Boden aufgelagert, sondern sie ruhen weit und gleichförmig auf einer gewissermaßen für den Niederschlag besonders vorgebildeten Fläche, die größtenteils ausgeebnet ist, stellenweise wellige Formen hat und zuweilen in Terrassen abgesetzt ist. Auch ragen aus ihr mehr oder minder einzelne feste und hohe Gebirgskerne auf, welche dann von den horizontalen Schichten ganz oder teilweise bedeckt werden. Die Auflagerungsfläche durchschneidet die den transgredierenden Gebilden im Alter vorhergehenden Formationen unabhängig von ihrer Lagerung. Sind die Schichtgesteine derselben hoch aufgerichtet und zusammengefaltet, so sind diese Falten entlang der Fläche wie abgehobelt, indem alle Teile, welche einst über diese aufragten, verschwunden sind. Der Betrag der Denudation ist oft außerordentlich groß. Einzelne noch erhaltene Mulden sind manchmal die einzigen Überreste von Sedimentformationen, welche viele Tausend Fuß Mächtigkeit hatten und in einer Reihe von Gewölben zusammengefaltet waren. Es sind dann nicht nur die aus diesen Formationen bestehenden Gewölbe hinweggeschliffen, sondern auch solche Teile noch älterer Gesteine, welche zwischen ihnen aufragten, in gleicher Weise entfernt worden.

„Es ist in solchen Fällen klar, daß die betreffenden Sedimentformationen nach der Zeit ihrer Ablagerung zu Gebirgen aufgestaut waren, und daß diese Festland bildeten; denn am Meeresgrunde konnte dies nicht geschehen. Es ging also jeder Periode der Transgression eine ungeheure Abschleifung des zur Zeit bestehenden Festlandes voran und zwar in Gestalt einer Fläche, welche die Tendenz hat, sich der welligen Ebene möglichst zu nähern, wiewohl dies in mehr oder weniger unvollkommener Weise erreicht wird."

Diese Erklärung ist ohne Zweifel richtig; es kann nicht bestritten werden, daß die fortschreitende Küstenbrandung einen derartigen Erfolg erzielen kann und ihn auch in vielen Fällen erzielt hat. Nichtsdestoweniger wird man sich vor der Verallgemeinerung hüten müssen, daß alle „abgehobelten" Landstrecken, welche die geschilderte Form zeigen, diese durch Transgression eines brandenden Meeres erlangt haben. Es wurde schon erwähnt, daß bei einer Abrasion durch vordringendes Meer das Zerreibsel auf der Abrasionsfläche liegen bleibt und übergreifende Schichten erzeugt; in allen den Fällen, in welchen wir solche marine Bildungen wirklich aufgelagert finden, ist höchst wahrscheinlich die Abtragung durch das brandende Meer bewirkt worden. Anders verhält es sich, wenn die transgredierenden Schichten fehlen; Richthofen, welcher diese Schwierigkeit hervorhebt, führt eine Anzahl solcher Fälle aus dem rheinischen Schiefergebirge, aus Belgien, aus Wales, Kalifornien und China an, deren Zahl sich wohl noch vermehren läßt. Man könnte ein derartiges Fehlen, wenn es nur vereinzelt vorkäme, durch eine Denudation eigentümlicher Art in etwas gezwungener Weise erklären; allein der Beispiele sind zu viele, um eine solche Deutung plausibel erscheinen zu lassen. Auf eine vollständige Unmöglichkeit treffen wir aber, wenn wir die Verhältnisse Böhmens ins Auge fassen: die kristallinischen Schiefer und kambrisch-silurischen Ablagerungen Böhmens zeigen in ausgezeichneter Weise die Charaktere eines Abrasionsgebietes. Schon der Bayrische und der Böhmerwald sind ein nur ziemlich flachwelliges Gebirge, dessen Höhenverhältnisse im großen in keinem nähern Zusammenhange mit der Schichtstellung, mit dem tektonischen Baue stehen; dasselbe ist aus konkordant übereinander abgelagerten, steil aufgerichteten Schiefern zusammengesetzt, die an der Oberfläche vollständig abgehobelt erscheinen (s. die Abbildungen, S. 610 und 611). Noch deutlicher tritt dies im Innern des böhmischen Beckens hervor; hier liegen auch übergreifende, horizontal gelagerte Schichten auf den abradierten Schichtköpfen der alten Formationen, und wir können verschiedene Perioden des Übergreifens unterscheiden. Die jüngsten der aufgerichteten und abgetragenen Schichten gehören aller Wahrscheinlichkeit nach dem untern Devon an, die älteste horizontale, transgredierende Ablagerung gehört der Kohlenformation an; sie ist aber keine Meeresbildung, sondern aus einem Binnensee abgesetztes, flözführendes Kohlengebirge. Man müßte also zuerst Aufrichtung und Gebirgsbildung während der devonischen Zeit, dann Abrasion durch das Meer, Rückzug desselben und vollständiges Verschwinden seiner Ablagerung und endlich die Entstehung eines Binnensees voraussetzen, Annahmen, zu denen man sich nicht entschließen kann.

Wir kommen dadurch zu dem Resultate, daß Abrasionsflächen unter Umständen ohne Mitwirkung der Meeresbrandung entstehen können, und wir werden diese Erklärung als die wahrscheinlichere bezeichnen, wenn über der Fläche keine Meeresablagerungen in übergreifender Lagerung auftreten. Die Frage ist nun, auf welche Weise eine solche Bildung ohne die Hilfe der Meereswellen entstehen kann. Schon früher wurde erwähnt, daß alle Gebirge der Erde im Verlaufe der Zeit durch die fließenden Wasser zerstört werden müßten, wenn kein Ersatz durch neue Aufrichtung geboten wäre; es ist ferner eine durch zahllose Beobachtungen nachgewiesene Thatsache, daß in vielen Gegenden, die früher energische Gebirgsbildung erkennen ließen, dieser Vorgang aufgehört hat, die betreffenden Gebirge werden allmählich vollständig zerstört, und nach den Gesetzen des Gefälles der Flüsse müßte das

ganze Land eine gegen das Meer sanft abfallende Gestalt zeigen, ebenso gut, wie das bei einer marinen Abrasionsfläche der Fall ist. Auch die vollkommene Unabhängigkeit der Oberflächenverhältnisse von der Lagerung muß sich bei einem „erloschenen Gebirge“ einstellen, und in diesen Punkten wird kein Unterschied vorhanden sein, ob nun die Abtragung desselben durch das Meer oder durch fließendes Wasser gebildet ist.

Wirkung des Eises.

Wenn auch dem fließenden oder brandenden Wasser weitaus die größte Wirksamkeit zukommt, so sind doch neben ihm auch andre zerstörende Faktoren thätig: in erster Linie das gefrorne Wasser, Eis und Schnee. Der Schnee hat allerdings direkt geringen Einfluß, wenn auch die Lawinenzüge des Hochgebirges oft viel Erdreich und Steine in die Tiefe wälzen; indirekt kommt dem Schnee dagegen eine viel größere Wichtigkeit insofern zu, als in der weißen winterlichen Decke, die sich über Berge und Thäler ausbreitet, die Niederschlagsmenge mehrerer Wochen oder Monate aufgespeichert wird und beim Eintritte warmen Wetters rasch zum Abflusse gelangt. In verhältnismäßig kurzer Zeit führen dann Bäche und Flüsse eine sehr große Menge von Wasser, ihre erodierende und transportierende Kraft wird während dieser Zeit in hohem Grade gesteigert.

Weit mehr muß uns das Eis in seinen verschiedenen Formen beschäftigen. Die Eisdecke, welche sich im Winter über Seen und seichte Meeresteile spannt, besitzt freilich nur geringe geologische Wirkung; dagegen sind die Eismassen, welche die Flüsse mit sich führen, in vielen Fällen von Wichtigkeit. Anfangs werden die Schollen vom Wasser unaufhaltsam weggeführt, in der Regel tritt aber bald ein Transporthindernis ein, meist dadurch, daß an seichten Stellen, an Sandbänken rc., die Schollen stranden und hängen bleiben und immer neue Eispartien sich anhäufen, bis die ganze Strombreite abgesperrt ist. Von da an kann natürlich kein Eis mehr abfließen, alle von oben nachkommenden Schollen stauen sich, „der Eisstoß stellt sich“.

Dabei wird jedoch nicht nur die Oberfläche einfach mit Schollen bedeckt, sondern durch die fortwährende Einwirkung der Strömung werden Zusammenschiebungen größerer Massen herbeigeführt, Schollen werden unter die Decke gerissen, es entstehen „Anschoppungen“, welche dem Abflusse des Wassers hinderlich werden. Es ist allgemein bekannt, welch furchtbare Katastrophen auf diese Weise entstehen, wie mächtige Überschwemmungen die Niederungen heimsuchen, wenn der Strom, durch Eisbarren abgesperrt, sich über seine Ufer ergießt. Der kritische Moment kommt heran, wenn Tauwetter eintritt: rückt die Wärme vom Unterlaufe des Flusses gegen den Ursprung vor, oder findet die Zunahme der Temperatur sehr allmählich statt, dann ist wenig Gefahr zu befürchten; die Eismassen schmelzen allmählich, kleinere Teile lösen sich von der Stirn des Stoßes und treiben schadlos ab. Aber anders gestaltet sich der Vorgang, wenn in den Quellgebieten rasch warmes Wetter eintritt und infolgedessen bedeutende Massen von Schmelzwasser, selbst noch Schollen treibend, von oben heranbrausen. Kleinere Eisstöße werden auf diese Weise weggefegt, aber ihr Material wird nur bis zur nächsten größern Stauung fortgeschafft, wo es diese verstärkt und vermehrt. Auch hier beginnt der angeschwollene Fluß die hemmende Decke aufzubrechen, aber noch reicht seine Kraft nicht hin, um den ganzen, oft viele Meilen langen Eisstoß zu bewältigen. Was in diesem Stadium am obern Ende zerstört wird, dient nur zur Verstärkung der weiter stromabwärts liegenden Teile der Barriere, chaotisch schieben sich die Blöcke und Schollen mit eigentümlich brausendem Getöse über- und durcheinander, oft haushohe Anhäufungen emportürmend. Das Wasser tritt nun aus und überflutet das von Dämmen eingesäumte

Inundationsgebiet; es kommen die bangen Tage, während welcher die Bewohner der Niederung nur durch die Dämme vor der Wut des Stromes geschützt sind, dessen Spiegel vielleicht höher steht als die Dächer der Häuser, dessen wildes Ungestüm die Schutzmauern zu unterwaschen beginnt. Schon sickern an einzelnen Stellen Wasserfäden durch den gelockerten Damm, und mit fieberhafter Anstrengung beginnt der Kampf um diesen Wall, den man durch rasche Anschüttung an den gefährdeten Stellen zu verstärken und zu erhalten sucht. Endlich ist der Eisstoß nicht mehr im stande, der Gewalt des Wassers zu widerstehen, er setzt sich in Bewegung, majestätisch treiben die gewaltigen Massen auf dem Strome thalabwärts, die Gefahr ist beseitigt, wenn nicht nach kurzem Fließen die ganze Masse wieder zum Stehen kommt. Aber nur für den einen Punkt ist die Befreiung von Wassersnot gekommen, sie beginnt jetzt erst für die thalabwärts gelegenen Strecken, bis endlich alles Eis aus dem Strome geschwunden ist.

Ein großer Teil unsrer Flüsse, Rhein, Elbe, Weichsel, bedroht im Frühlinge seine Gestade in dieser Weise, und ganz besonders thut dies die Donau. Zwar ist jetzt, seitdem das Strombett bei Wien reguliert ist, diese Stadt von keiner größern Überschwemmung mehr heimgesucht worden, aber noch ist die Möglichkeit der Wiederkehr einer solchen nicht gebannt; unterhalb Wien, namentlich im westlichsten Teile Ungarns, sind stark versandete Strecken, an denen sich der Eisstoß „stellt", und erst, wenn auch hier das Strombett gereinigt sein wird, kann man mit Ruhe dem Herannahen des Frühlinges in jedem Jahre entgegensehen.

Die geologischen Wirkungen dieser durch Eisstauung hervorgebrachten Überschwemmung sind verschiedener Art: zunächst werden, wie bei jeder Überschwemmung, auf diese Weise Sedimente in dem Inundationsgebiete abgelagert und dieses erhöht; ferner werden aber auch Veränderungen augenfälligerer Art hervorgebracht: bei Strömen mit unregelmäßigem und durch Inseln in mehrere Arme geteiltem Laufe „verlandet" oft einer oder der andre von diesen, während der Wasserablauf sich auf die übrigen konzentriert. Wenn nun diese letztern durch Eisanhäufungen gesperrt sind, so wendet sich das gestaute Wasser mit voller Macht gegen die „verlandeten" Arme, es kann hier die Sandbänke wegräumen und so eine teilweise Verlegung des Flußlaufes mit sich bringen. Immerhin ist die Wirkung des Eises bei diesen Vorgängen nur eine mittelbare, es bedingt Veränderungen der Erdoberfläche nur dadurch, daß es das rinnende Wasser staut und dadurch zu zerstörender Thätigkeit bringt. In andrer Weise ist das sogenannte Grundeis, schwammiges Eis, das sich am Boden der Flüsse bildet und Gesteinsstücke umschließt, thätig. Lösen sich diese Massen vom Grunde ab und werden vom Wasser fortgetrieben, so dienen sie als Transportmittel für die eingeschlossenen Steine, die auf diesem Wege oft weithin befördert werden, bis in Gegenden, in welche sie die Strömung ohne die Hilfe des Eises nicht zu bringen vermocht hätte. Dabei erhalten auch nach den Angaben Trautscholds die eingeschlossenen Gerölle, indem sie über steinigen Grund weggeschleift werden, oft „Kritzen", wie man sie in der Regel bei Gletschergeschieben findet.

Die Gletscher und ihre Bewegung.

Alle diese Vorgänge bilden verhältnismäßig untergeordnete Agenzien; zu einer umgestaltenden Macht ersten Ranges wird das Eis nur da, wo es in selbständiger Bewegung gleitet und fließt, in den Gletschern, die sich von den Höhen alpiner Hochgebirge oder aus dem Innern polarer Länder vorschieben. In unsrer Nähe lehren uns zunächst die Alpen diese merkwürdigen Eisströme kennen, in einer Entfaltung, welche zwar gegen diejenige mancher Polarländer und gegen die mächtige Entwickelung in der Vorzeit sehr bescheiden zurückbleibt, aber dennoch bedeutend genug ist, um unsern Sinnen großartig im höchsten Grade zu erscheinen und uns die gewaltige Bedeutung dieses Faktors verstehen zu lassen (s. Abbildung, S. 489).

Es ist bekannt, daß in einer gewissen Höhe über der Meeresfläche, selbst unter dem Äquator, die atmosphärischen Niederschläge nur in Form von Schnee niederfallen. Im Winter reicht derselbe weiter herab, im Sommer zieht er sich weiter in die Höhe zurück, bis an die „Schneegrenze" oder „Schneelinie". Die Höhe, in welcher an irgend einem Orte diese Schneegrenze liegt, hängt nicht nur von der geographischen Lage und der Wärme, sondern wesentlich auch von der Menge der Niederschläge ab; ist die Menge des winterlichen Schnees eine sehr große, so ist viel mehr Sommerwärme zu seiner Schmelzung nötig als in Gegenden mit geringem Schneefalle. Es wird das vielleicht am besten durch das Beispiel des Himalaja erläutert, an dessen milderer, aber sehr niederschlagsreicher Südseite die Schneelinie bei 4940 m liegt, um mehr als 700 m niedriger als auf der rauhen und kalten, aber trocknen Nordseite.

Die nachstehende Tabelle gibt die Schneelinie einer Anzahl von Orten an (nach J. Hann):

Ort	Geographische Lage	Höhe der Schneelinie Meter	Ort	Geographische Lage	Höhe der Schneelinie Meter
	nördl. Br.			nördl. Br.	
Spitzbergen	77°	460	Himalaja (Nordseite).	27–34°	5670
Island	65°	936	Karakorum	28–36°	5820
Norwegen.	70°	1021[1] / 884[2]	Kilima-Ndscharo (Zentralafrika) . . .	südl. Br. 3°	5000
Norwegen.	60°	1680[1] / 1360[2]	Südamerikan. Anden: Ecuador	0°	4820
Westalpen	45–47°	2700	Bolivia	16°	4850–5620
Ostalpen	45–47°	2800	Chile	33°	4500
Kaukasus (Ostseite) .	41–44°	4300	Patagonien . . .	42°	1830
Kaukasus (Westseite) .	41–44°	3570	Magelhaensstraße . .	52°	1100
Himalaja (Südseite) .	27–34°	4940	Süd-Georgia . . .	54°	0

[1] Inland. — [2] Küste.

In jedem Jahre fällt natürlich über dieser Linie mehr Schnee, als abgeschmolzen wird, und derselbe müßte sich in wenigen Jahrtausenden zu ungeheuer mächtigen Massen anhäufen, wenn nicht für die Wegräumung gesorgt wäre. Diese erfolgt teils durch die eigne Schwere des Schnees, welcher in die Tiefe gleitet, teils durch die Wirkung der Winde, welche den trocknen, sandartigen Hochschnee nach abwärts wehen; hier geht derselbe durch die Einwirkung der Sonnenwärme und warmer Winde, welche die Oberfläche schmelzen und das Schmelzwasser versickern lassen, in körniges Firn-Eis über. Bei nicht allzu steilem Gefälle sammelt sich dieses in Mulden oder auf Gehängen in gewaltigen Mengen an, welche fortwährend langsam bergab drängen. Dabei geht eine Veränderung der Struktur vor sich, indem durch die weitere und in tiefern Regionen intensivere Wirkung derselben Kräfte, welche den Schnee zu körnigem Firne gestalten, dieser letztere selbst in das kompakte Gletschereis übergeht, dessen von zahlreichen feinen Haarrissen durchzogene Masse in kleinern Stücken wasserhell und farblos, im großen aber von prachtvoller blauer Farbe erscheint. Diese Umänderung geht in der Weise vor sich, daß in den höhern Regionen nur die tiefsten Lagen unmittelbar über dem Boden umgewandelt sind, während weiter abwärts die Masse des kompakten Eises zunimmt, bis endlich nur dieses allein vorhanden ist.

Das Gletschereis verbreitet sich bis weit unter die Schneegrenze herab, in den Gebirgen der wärmern und gemäßigten Breiten den Thalfurchen folgend, während in mäßig gebirgigen, sehr niederschlagsreichen Gegenden der Polarregion dasselbe sich als ein alles gleichmäßig bedeckender Mantel, als sogenanntes Inlandeis, über das ganze Land, Thäler und Berge überkleidend, ausdehnt. In Spitzbergen, Grönland, dem Feuerlande reichen die Gletscher bis ans Meer, in den Alpen, wo die Grenze des ewigen Schnees sich bei

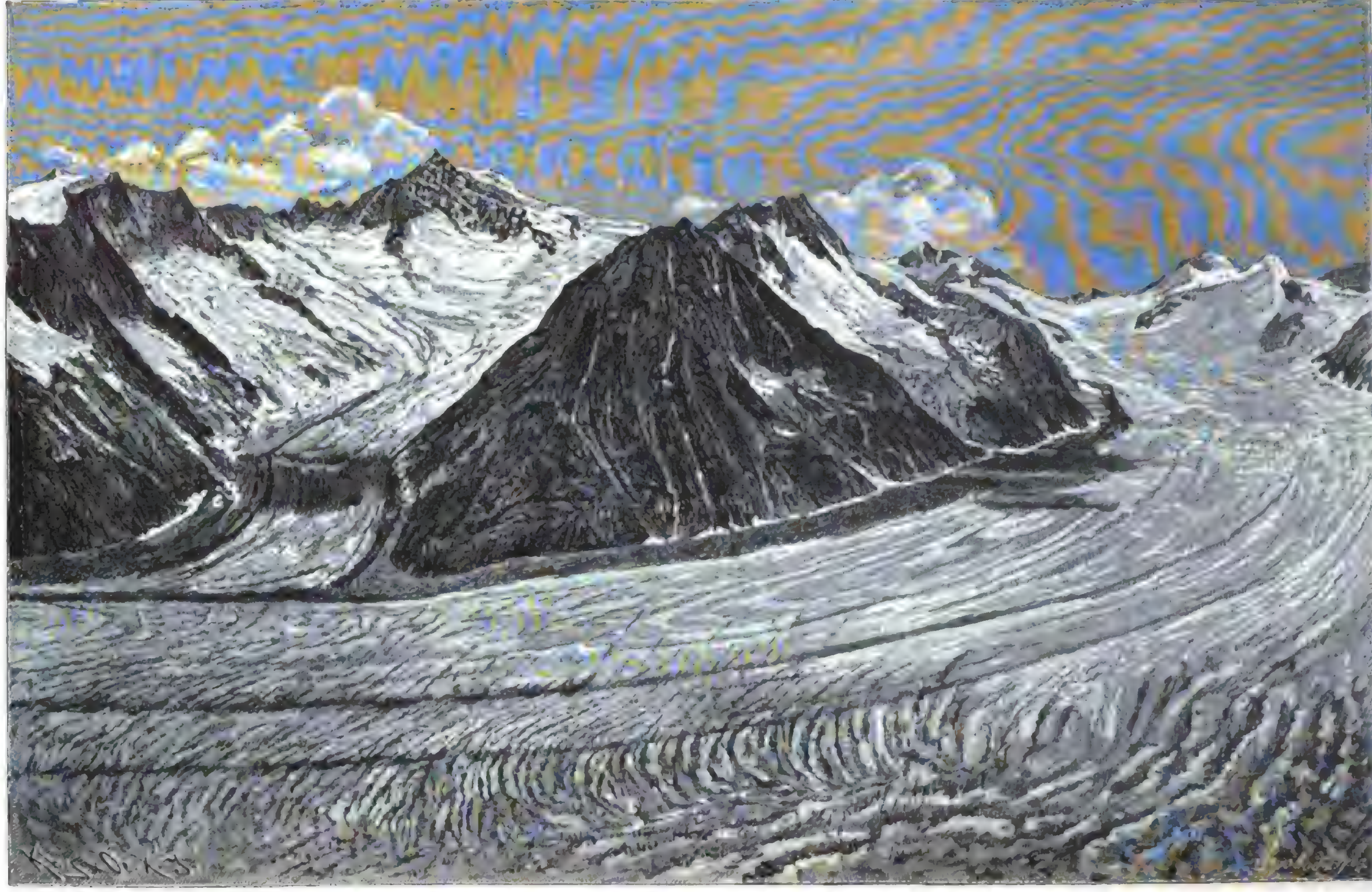
2700—2800 m befindet, reicht der Grindelwaldgletscher bis zu 983 m herab, während die untere Gletschergrenze im Durchschnitte 1740 m hoch liegt.

Wenn wir wohlentwickelte Gletscher in den Alpen untersuchen, so finden wir vor allem in der Hochregion eine große, in der Regel muldenförmige Firnansammlung, von der aus sich der eigentliche Gletscher in die Tiefe senkt; gleich einem Strome folgt derselbe den Thallinien, er wird breiter, wo das Thal sich erweitert, wo dieses sich einschnürt, verengert sich auch der Gletscher und erscheint über stärker geneigten Stellen von Spalten zerrissen und wild zerklüftet, entsprechend den Katarakten eines Flusses. In der That ist das Eis in einer überaus langsamen Bewegung begriffen, der Gletscher bildet im vollsten Sinne des Wortes den Abfluß der Firnmulde, wie diese das Quellreservoir des Gletschers ist.

Wir treten hier an eins der interessantesten geologischen Phänomene heran, dessen Studium dadurch große Bedeutung gewinnt, daß in einer noch nicht sehr lange hinter uns liegenden Zeit nicht nur die höchsten Gebirgsregionen und einige Polarländer vergletschert waren, sondern die Eismassen der Alpen bis weit in ihr ebenes Vorland herabstiegen, diejenigen Skandinaviens sich bis England, Holland, an den Fuß der mitteldeutschen Gebirge und der Karpaten, selbst bis ins Zentrum Rußlands erstreckten. Für diese in großartigstem Maßstabe auftretenden Erscheinungen der Eiszeit gibt uns nur die Untersuchung der jetzigen Gletscher die Möglichkeit des Verständnisses, und durch sie werden wir in einen Zustand der Dinge in Europa eingeführt, dessen Fremdartigkeit selbst eine kühne Phantasie kaum auszusinnen wagte, ehe die Macht der Thatsachen ihre Wirklichkeit unwiderleglich bewies.

Wir wollen uns vor allem mit den Erscheinungen in den Alpen befassen, die am leichtesten zu erreichen sind. Außerordentlich verschieden ist die Entwickelung der Glazialerscheinungen in verschiedenen Teilen der Alpen: die niedrigen Randketten haben gar keine Gletscher, in andern sind nur einzelne große Mulden mit Firn erfüllt, von denen sich unbedeutende Gletscherzungen nach abwärts erstrecken, während die gewaltigsten Gebirgsstöcke, die Masse des Montblanc, des Monte Rosa, der Berner Alpen, des Bernina, des Ortler, der Ötzthaler, Stubaier, Zillerthaler Gruppe, die Hohen Tauern und manche andre Gebirgsmassen, gewaltige Firngebiete darstellen, von denen nach allen Seiten die Gletscher in großer Zahl sich loslösen.

Die Zahl der einzelnen Gletscher in den Alpen wird auf etwa 2000 geschätzt, vom gewaltigen Eisstrome, der in breitem Thale sich von der ausgedehnten Firnmulde weit hinunter in die Tiefe erstreckt, bis zum kleinen Jochferner, der bloß an den höchsten Mulden sich ausbreitet und nur Spuren echter Eisbildung zeigt. Man unterscheidet in der Regel nach dem Vorgange von Saussure zwei allerdings in der Natur nicht scharf geschiedene Arten von Gletschern, solche erster Ordnung, welche, aus festem, dichtem Eise bestehend, sich langgestreckt durch größere, meist ziemlich sanft abfallende Thäler ziehen, und Gletscher zweiter Ordnung, welche lockeres Eis haben, meist erheblich kürzer sind und an stärker geneigten Bergflanken und Thalwänden herabhängen. Natürlich ist die Zahl der letztern kleinern Ferner viel größer als die der erstern; Gletscher erster Ordnung mag es etwa 200 in den Alpen geben, unter 300 Gletschern der Ötzthaler Gruppe gehören sogar nur 19 in diese Kategorie. Die größern alpinen Gletscher erreichen eine Länge von mehr als 1 deutschen Meile; der Aletschgletscher im Berner Oberlande hat 23 km Länge, Mer de Glace am Montblanc 12 km. In den deutschen Alpen steht der Gepatschferner in der Ötzthaler Gruppe (Kaunser Thal) mit über 11 km obenan, dann folgt die Pasterze am Großglockner mit mehr als 10 km Länge. Die Breite wechselt außerordentlich, selbst an einem und demselben Gletscher, indem sich derselbe je nach dem Querprofile des Thales bald ausbreitet, bald verschmälert. Bei einer großen Anzahl übersteigt die Breite 1 km, doch ist gerade der Breite, die so wesentlich von den Terrainverhältnissen beeinflußt wird, verhältnismäßig wenig Wert beizulegen; von



Der Aletschgletscher im Berner Oberlande. Vgl. Text, S. 486.

Bedeutung ist nur, daß sie bei den größern Gletschern stets sehr erheblich hinter derjenigen ihrer Firnmulden zurückbleibt. Diese Sammelgebiete der Eisströme erreichen oft sehr große Dimensionen, sie betragen bei den bedeutendern über 5, steigen aber bei einzelnen bis zu 40 qkm. Im ganzen mag in den Alpen ein Gebiet von etwa 3500 qkm vereist sein.

Sehr viel schwerer als über die Ausbreitung ist es, über die Dicke der Gletscher Daten zu erhalten. Genaue Beobachtungen sind gerade hier mit ganz außerordentlichen Schwierigkeiten und namentlich mit bedeutenden Kosten verbunden. Sehr einfach ist eine Messung am Gletscherende, aber sie ist auch nahezu wertlos, da man hier nur noch verkümmerte, durch Abschmelzen auf ein Minimum reduzierte Reste vor sich hat. In den höhern Regionen aber, wo der Gletscher in seiner vollen Entwickelung ist, ist es sehr schwierig, auf seinen Grund zu gelangen; zwar gehen häufig Spalten in die Tiefe, aber nur selten durch die ganze Dicke des Gletschers, und wo das der Fall ist, darf man annehmen, daß man es mit einer Stelle zu thun habe, an welcher infolge einer Erhabenheit des Untergrundes das Eis verhältnismäßig dünn ist. Es ergeben auch die Messungen durch Hinabsenkung von Leinen in die Spalten keine sichern Resultate; die größten Tiefen, welche Agassiz auf diese Weise fand, sind sehr beträchtlich: am Aargletscher wurde in einem Falle die Sonde 190, in einem andern 260 m in die Tiefe gelassen, ohne Boden zu finden. Die beste Methode wäre natürlich, Tiefbohrungen anzustellen; aber dieses sehr zeitraubende, verwickelte und kostspielige Verfahren wurde noch nie in hinreichendem Maßstabe angewendet. Agassiz, der überhaupt das Studium der Gletschererscheinungen unter allen Forschern am energischsten betrieb, ließ am Aargletscher Bohrungen anstellen, welche bei 66 m das Eis noch nicht durchsunken hatten. In Ermangelung direkter Erfahrungen hat man versucht, die Dicke des Gletschers aus seiner Neigung zu berechnen, und hat auf diesem allerdings wenig sichern Wege für die größten Gletscher den Wert von 400 bis 500 m erhalten.

Wie schon früher angedeutet, ist jedoch die Mächtigkeit des Eises in verschiedenen Teilen des Stromes eine sehr verschiedene; ebenso wie bei einem Flusse, wird die Dicke bei Ausbreitung des Bettes abnehmen, bei einer Verengerung anwachsen. Aber außerdem ist natürlich auch in wirksamster Weise die Abschmelzung thätig, so daß der Gletscher von oben nach unten stetig abnimmt und eine schmal keilförmige oder zungenförmige Gestalt zeigt, weshalb man auch den in die Tiefe herabsteigenden Teil als die Gletscherzunge bezeichnet. Genaue Messungen über den Betrag der Abnahme nach unten hat man natürlich noch nicht oder wenigstens nur in den allertiefsten Regionen des Gletschers machen können, man glaubt jedoch, daß der Winkel, den Ober- und Unterfläche miteinander einschließen, nie über 3° ansteigt.

Von dieser sogenannten „spezifischen Neigung" des Eises vollständig verschieden ist die „wahre Neigung des Gletschers", d. h. der Winkel, welchen derselbe mit der Horizontalebene bildet, und welcher von der Neigung des festen Untergrundes abhängig ist. Dieselbe ist bei den großen Gletschern erster Ordnung in der Regel eine sehr geringe; mögen auch innerhalb derselben einzelne Stellen sehr steil sein und zu den sogenannten Gletscherbrüchen Anlaß geben, so wird doch im großen und ganzen der Abfall ein verhältnismäßig sanfter sein und kaum je 10° erreichen. Die Brüche der Pasterze, des Rhônegletschers &c. weisen allerdings eine Neigung von 20 bis 30° auf, dafür finden sich aber wieder andre Stellen mit nur 1—3°, und als den Durchschnitt kann man 5—8° betrachten. Anders verhält es sich bei den kleinern Gletschern zweiter Ordnung, die unter Umständen äußerst steil ansteigen, ja in vereinzelten Fällen unter einem Winkel von 50° an den Abstürzen herunterhängen, so daß man kaum begreift, wie sie sich in dieser Lage halten können, ohne in die Tiefe zu stürzen.

Mehr als diese die äußere Form und Lage betreffenden Verhältnisse ist die Bewegung des Gletschers von Wichtigkeit, welche alle die merkwürdigen Erscheinungen erklärt, die uns so fremdartig entgegentreten. Es wurde schon kurz erwähnt, daß der Gletscher in der

That ein in langsamem Fließen begriffener Strom von Eis ist; er ist ein Strom, dessen Bewegung acht- bis zehnmillionenmal langsamer ist als diejenige einer gleich mächtigen Wassermasse, die über einen Untergrund von derselben Beschaffenheit und Neigung hinfließt. Daß der Gletscher sich bewegt, ist schon vor langer Zeit erkannt worden, und wohl schon längst, ehe die gelehrte Forschung diese Thatsache verzeichnete, war sie dem scharfen Sinne der Bergbewohner zum Bewußtsein gekommen; „die Gletscher wachsen wie das Kraut", lautet ein Sprichwort in den Schweizer Alpen, von dem Escher von der Linth erzählt.

Den nächsten Schritt bildete die Messung, die Feststellung des Betrages, um welchen die Eismasse sich in einer gegebenen Zeit fortschiebt. Die ersten Angaben finden wir bei Hugi, der im Jahre 1827 auf der Mittelmoräne des Aargletschers eine Steinhütte hatte bauen lassen und im Jahre 1830 fand, daß dieselbe in dieser Zeit um 100 m thalabwärts gewandert sei. Agassiz fand sie dann im Jahre 1836: 714 m, im Jahre 1840 nicht weniger als 1428 m von ihrem ursprünglichen Standorte entfernt, was also im Durchschnitte etwa 110 m Bewegung für das Jahr ergibt; doch verteilt sich die Verschiebung sehr ungleichmäßig auf diesen Zeitraum, indem sie für den ersten Abschnitt 33 m, für den zweiten 102 m, für den dritten 178 m pro Jahr beträgt. Diese letztere Beschleunigung würde 488 mm für den Tag oder ungefähr 2 cm in der Stunde ergeben, was jedenfalls zu den schnellsten Bewegungen gehört, die man an Alpengletschern überhaupt kennt.

Noch einige Male ergab sich durch Auffindung von Gegenständen, die mehrere Jahre vorher an einer genau bekannten Stelle eines Gletschers zurückgeblieben waren, gleich günstige Gelegenheit, den Fortschritt des Eises während eines großen Zeitraumes zu bestimmen. Saussure hatte bei seinen berühmten Exkursionen und Untersuchungen am Montblanc im Jahre 1788 eine Leiter auf dem Mer de Glace zurückgelassen, deren Reste man im Jahre 1832 weiter abwärts wieder auffand; sie hatten jährlich 114 m oder 321 mm im Tage zurückgelegt. Im Jahre 1845 traf Jules Martin dieselben Bruchstücke 370 m tiefer, was also eine beträchtliche Verlangsamung in dieser Zeit ergibt. Im Jahre 1846 kam am Ende des Talèfre-Gletschers der Tornister eines Touristen an den Tag, welchen ein Führer zehn Jahre vorher weit oben beim Sturze in eine Spalte verloren hatte, und man konnte daraus die Bewegung des Eises während dieser Zeit auf 131 m im Jahre oder 359 mm im Tage oder $1^1/_2$ cm stündlich berechnen. In derselben Weise gibt auch oft nach Dezennien der Gletscher die unheimlichen Reste der Opfer wieder, die auf seinen obern Teilen durch Sturz in eine Spalte verunglückt waren. Am bekanntesten ist wohl die Katastrophe, die sich am 20. August 1820 am Montblanc ereignete; der russische Naturforscher Dr. Hamel und zwei englische Forscher hatten sich mit zahlreichen Führern und Trägern, welche die Instrumente in die Höhe schaffen sollten, auf den Weg gemacht, um den König der europäischen Berge zu ersteigen. Nicht sehr weit vom Gipfel geriet der auf dem Eise liegende lose Schnee ins Gleiten, er stürzte als Lawine in die Tiefe, und drei von den Leuten wurden verschüttet. 41 Jahre später kamen am untern Ende des Glacier du Bosson Teile der Kleider der Verunglückten und der grüne Gletscherschleier des Dr. Hamel zum Vorscheine und wurden von den noch lebenden Führern wiedererkannt, ein Jahr später wurden eine einzelne Hand und noch andre Reste gefunden.

Fälle wie diejenigen der Leiter von Saussure oder des Tornisters vom Talèfre-Gletscher geben sehr wertvolle Durchschnittsresultate für längere Zeiträume, aber natürlich reichen solche seltene Zufälle für eine nähere wissenschaftliche Erkenntnis nicht hin. Man mußte daher zu planmäßiger Untersuchung greifen, und diese wurde von Agassiz, Forbes, Tyndall und einer Reihe andrer Forscher vorgenommen und namentlich in neuerer Zeit mit größter Genauigkeit wiederholt. Die Methoden sind sehr einfach: man wählt feste Standorte am Rande des Gletschers und visiert von diesen aus in verschiedenen Zeitabständen

mit Nivellierinstrumenten auf irgend welche genau wieder erkennbare Punkte auf dem Gletscher. Agassiz wählte anfangs Felsblöcke auf dem Rücken des Aargletschers; dieses Verfahren hat aber den Nachteil, daß man dabei die Lage der Beobachtungsobjekte nicht beliebig wählen und namentlich nicht verschiedene in gleicher Höhe bald näher der Mitte, bald weiter am Rande gelegene Punkte miteinander vergleichen kann. Im weitern Verfolge der Arbeiten wurden daher an zwei Stellen Pfahlreihen quer über dem Gletscher ins Eis geschlagen. Die genauesten Arbeiten dieser Art sind diejenigen, welche seit dem Jahre 1874 auf Veranlassung des Schweizer Alpenklubs am Rhônegletscher vorgenommen werden. Der Rhônegletscher ist ein in jeder Richtung sehr normaler Gletscher, 10 km lang, mit einem ausgedehnten obern Teile, der durch einen mächtigen Gletscherbruch von dem fast horizontal sich ausbreitenden untern Teile getrennt ist. Es wurden nun an vier verschiedenen Stellen quer über den Gletscher Reihen von dicht aneinander gestellten faustgroßen Steinen gelegt und innerhalb der Reihen von 20 zu 20 m je ein größerer mit einer eingravierten Nummer gestellt. Die oberste Steinreihe unmittelbar unter der Firnmulde, also gerade am Beginne des eigentlichen Gletschers, enthielt 53 größere Steine, sie war also 1100 m lang und wurde ihrer ganzen Länge nach mit roter Ölfarbe angestrichen; die zweite Reihe in der Mitte des obern Gletschers enthielt 51 große Steine, sie wurde gelb bemalt; eine dritte Reihe mit 27 großen Steinen, grün gefärbt, wurde unmittelbar unter den in der Mitte des Gletschers befindlichen Eisbruch gelegt, die vierte, schwarze Reihe mit 25 großen Steinen nahe dem untern Ende. Seit 1874 wird jährlich die Lage jeder der vier Steinreihen und jedes einzelnen der 156 größern Blöcke in denselben sehr genau trigonometrisch bestimmt, außerdem werden Quernivellierungen über den Gletscher vorgenommen und eine detaillierte topographische Karte desselben aufgenommen.

Derartige genauere Bestimmungen ergeben die größte Verschiedenheit der Bewegung; die einzelnen Gletscher weichen sehr erheblich voneinander ab, und ein und derselbe Gletscher bewegt sich an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten in sehr ungleichmäßiger Weise. Die langsamste Verschiebung, welche Agassiz am Aargletscher beobachtete, war 5,6 m im Jahre, und die schwarze Steinreihe am Rhônegletscher rückt sogar nur um 5 m jährlich vor; doch handelt es sich in beiden Fällen um abnorme Erscheinungen: in dem erstern betraf die Beobachtung eine hinter einem Felsvorsprunge gestaute Partie, in dem zweiten Falle, wie später gezeigt werden soll, das äußerste Ende eines in mächtigstem Rückgange begriffenen Gletschers, der in 15 Jahren 900 m an Länge verloren hat. Als Mittelzahl für die Gletscher der Alpen kann etwa 100 m im Jahre gelten; die Beschleunigung von 178 m, welche wir bei der Hugischen Hütte auf dem Aargletscher für 1836—40 kennen gelernt haben, ist schon außergewöhnlich groß, die schnellste längere Zeit hindurch verfolgte Bewegung, die man bisher in den Alpen beobachtet hat, zeigte ein Felsblock auf dem Mer de Glace, der in der Zeit vom Juli 1846 bis Juli 1850 jährlich 250 m, etwa 68 cm im Tage, zurückgelegt hat. Ganz abnorm schnell, allerdings immer nur während verhältnismäßig kurzer Zeit, bewegt sich z. B. der Vernagtgletscher im Ötzthale bei seinem periodischen, in langen Zwischenräumen erfolgenden Vordringen: am 1. Juni 1845 legte die Eismasse einen Weg von 12 m zurück, fast 1 cm in der Minute, so daß die Bewegung mit freiem Auge bemerkbar war. Aber die raschesten Bewegungen an den Gletschern der Alpen werden von jenen Grönlands übertroffen. Bekanntlich ist das ganze Innere von Grönland von einer sehr mächtigen Eismasse bedeckt, die nach allen Seiten gegen außen drängt. Wo nun an bergigen Küsten zwischen Höhen, die das Vorrücken hemmen, einzelne Thäler sich öffnen, wälzen sich die Gletscherzungen, mit unwiderstehlicher Macht geschoben, außerordentlich rasch dem Meere zu, so daß die Bewegung z. B. am Gletscher von Jacobshavn 14—20 m im Tage beträgt.

Die Bewegung des Gletschers geht nicht stoßweise, sondern fortwährend, jedoch in sehr unregelmäßiger Weise vor sich, wie namentlich die feinen Untersuchungen von Pfaff und Klocke gezeigt haben. Ein und derselbe Punkt bewegt sich bald etwas vorwärts, dann wieder rückwärts, bald nach oben oder unten, so daß es den Eindruck macht, als ob eine Art Strudelbewegung der Eisteile stattfände; in der Hauptsache aber macht sich als Resultierende aller dieser kleinen Schwankungen ein stetiges Vorrücken geltend, das, entsprechend der Verteilung der Wärme, bei Tage weit stärker ist als bei Nacht. Auch nach den Jahreszeiten findet ein beträchtlicher Unterschied statt; der Winter hat die schwächste Bewegung, bedeutend stärker ist sie im Sommer, am raschesten jedoch im Frühjahre bei der Schneeschmelze, um welche Zeit das Vorschreiten im Durchschnitte etwa doppelt so schnell erfolgt als im Winter. Ein ungefähres Bild der mittlern täglichen Bewegung (in Millimetern) gibt folgende von Agassiz über den Jahrgang 1845/46 ausgedehnte Beobachtung am Aargletscher:

21. Juli	bis	16. August	223	17. Februar	bis	3. März	231
16. August	=	6. September	198	3. März	=	17. März	204
6. September	=	12. September	267	17. März	=	17. April	183
12. September	=	24. September	212	17. April	=	30. Mai	374
24. September	=	23. Oktober	194	30. Mai	=	13. Juni	343
23. Oktober	=	19. Dezember	153	13. Juni	=	22. Juni	330
19. Dezember	=	11. Januar	133	22. Juni	=	6. Juli	222
11. Januar	=	19. Januar	256	6. Juli	=	18. Juli	165
19. Januar	=	17. Februar	279				

Auf die Zeit von Mitte April bis Mitte Oktober fällt eine mittlere tägliche Bewegung von 274, von Mitte Oktober bis Mitte April von 192 mm, in der Zeit der Schneeschmelze (Mitte April bis Mitte Juni) von 365 mm.

Sehr ungleichartig ist auch die Schnelligkeit der Bewegung an verschiedenen Teilen eines und desselben Gletschers. Unmittelbar unter der Grenze des Firnes scheint dieselbe verhältnismäßig nicht sehr groß, dann erreicht sie sehr bald den höchsten Grad und nimmt von da gegen das untere Ende stetig ab. Natürlich gilt das nur bei ungefähr gleicher Neigung des Untergrundes; wo ein steilerer Abfall vorhanden ist, vermehrt sich auch die Bewegung ganz unabhängig von der Lage im obern oder untern Teile. Eine richtige Vorstellung von dem Verhältnisse bei annähernd gleichem Abfalle geben z. B. die Messungen von Agassiz am Aargletscher, welcher an einer Reihe von Felsblöcken der Mittelmoräne in den Jahren 1842—46 Messungen vornahm. In der folgenden Tabelle sind seine Angaben mitgeteilt; der erste Block lag nahe der Firngrenze, der letzte am Ende des Gletschers, die übrigen der Reihe nach ziemlich gleichmäßig zwischen diesen verteilt.

	Bewegung			Bewegung	
	jährliche	tägliche		jährliche	tägliche
Block 1 . . .	38,16 m	105 mm	Block 5 . . .	70,70 m	194 mm
= 2 . . .	74,36 =	197 =	= 6 . . .	56,47 =	155 =
= 3 . . .	77,01 =	211 =	= 7 . . .	38,66 =	106 =
= 4 . . .	67,58 =	185 =	= 8 . . .	29,52 =	81 =

Noch auffallender sind die Unterschiede, welche sich an verschiedenen in einer Querlinie über dem Gletscher gelegenen Punkten bemerkbar machen, indem die Mitte sehr viel schneller vorrückt als die Seitenteile; an den Rändern ist die Bewegung sehr langsam, nimmt dann sehr rasch zu und ist gegen die Mitte zu nur noch verhältnismäßig geringern Änderungen unterworfen. James Forbes hat dies zuerst am Mer de Glace nachgewiesen, später wurden ähnliche Beobachtungen von Agassiz, Schlagintweit und andern gemacht. Agassiz schlug auf einer Linie quer über den Aargletscher eine Reihe von Pfählen ein; einer derselben befand sich in der Mittelmoräne, die übrigen zu beiden Seiten in den beiden Teilen des Gletschers, dem Finsteraar= und dem Lauteraargletscher.

	Entfernung von der Mittelmoräne	Tägliche Bewegung 1842/43	1843/44	1844/45
Rand . . .	525 m	0 mm	0 mm	0 mm
Lauteraar .	495 -	14 -	14 -	11 -
	450 -	55 -	68 -	55 -
	375 -	107 -	121 -	96 -
	301 -	148 -	178 -	129 -
	150 -	178 -	192 -	153 -
Mittelmoräne	0 -	189 -	208 -	159 -

	Entfernung von der Mittelmoräne	Tägliche Bewegung 1842/43	1843/44	1844/45
Finsteraar .	180 m	206 mm	206 mm	167 mm
	450 -	189 -	192 -	151 -
	564 -	142 -	142 -	109 -
	690 -	63 -	68 -	44 -
	780 -	35 -	30 -	32 -
Rand . . .	840 -	0 -	0 -	0 -

Sehr groß ist auch der Unterschied zwischen Rand und Mitte, welcher bei den neuen Messungen am Rhônegletscher beobachtet worden ist: in der obersten, rot angestrichenen Steinreihe bewegte sich der auf der linken Seite 20 m vom Rande entfernte Block in sechs Jahren um 55, der in der Mitte des Gletschers gelegene Block in derselben Zeit um 623 m vorwärts. Infolge dieser sehr ungleichmäßigen Bewegung, welche offenbar der Reibung des gleitenden Eises an dem festen Felsenrande zuzuschreiben ist, wird eine ursprünglich gerade quer über den Gletscher gezogene Linie von Pfählen oder Steinen schon nach wenigen Jahren einen stark geschwungenen, nach unten konvexen Bogen bilden. Auf dieselbe Ursache, den Reibungswiderstand, ist es offenbar auch zurückzuführen, daß sich die Oberfläche des Gletschers bedeutend rascher bewegt als seine Unterseite, die unmittelbar auf dem Felsboden aufruhende Eisschicht.

Vielfach ist die Frage besprochen worden, ob dem Gletschereise außer der Bewegung nach vorn auch eine solche nach den Seiten zukommt, und die Antworten lauten ziemlich verschieden. Nach dem heutigen Stande unsrer Kenntnisse scheint eine solche seitliche Verschiebung durchaus nicht allgemein, wohl aber unter gewissen Umständen vorzukommen; der Gletscher schmiegt sich wie ein Fluß der Form seines Bettes an, wo dieses sich erweitert, breitet sich der Gletscher aus (s. Abbildung, S. 495), und natürlich wird damit eine Bewegung von Eisteilen von der Mitte gegen die Ränder verbunden sein, sonst aber scheint eine solche nicht stattzufinden. Von acht Steinen, die bei der neuern Vermessung an verschiedenen Stellen nur 20 m vom Rande des Rhônegletschers niedergelegt worden sind, ist im Verlaufe von sechs Jahren noch keiner „gestrandet“. Auch eine in großem Maße wälzende Bewegung des Eises, welche Partien vom Boden an die Oberfläche bringt, läßt sich nicht nachweisen.

Es ist also wesentlich eine unausgesetzte Vorwärtsbewegung, welche der Gletscher ausführt. In der großen Firnmulde häuft sich der Schnee an und liefert stets nachschiebendes Eis; wir haben es ebenso gut wie bei einem Flusse mit einer Abfuhr der Niederschläge aus einem Sammelgebiete zu thun. So langsam also auch die Bewegung des Gletschers ist, so müßte er sich doch ununterbrochen immer weiter schieben, bis er in einen See oder in das Meer mündet, wenn nicht die fortdauernde Abschmelzung seiner Ausdehnung Schranken setzen würde. Die Gletscher reichen weit über die Schneegrenze in die Tiefe, stellenweise bis dicht an die Region des Getreide- und Obstbaues, und da hier die mittlere Jahrestemperatur weit über dem Gefrierpunkte ist, so muß während der wärmern Jahreszeit ein fortwährendes Abschmelzen stattfinden; jeder Gletscher reicht bis zu dem Punkte in die Tiefe, wo gerade die ganze jährliche Zufuhr von Eis durch die Wärme aufgezehrt wird. Denken wir uns einen Gletscher, dessen unteres Ende sich etwa um 40 m jährlich vorschiebt, so wird er bis dahin reichen, wo die Temperatur zur Abschmelzung von 40 m jährlich ausreicht und infolgedessen ein Gleichgewichtszustand eintritt. Wird dieser gestört, nimmt die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes zu oder die Schnelligkeit und Dicke des Gletschers an seinem Ende ab, so wird dieser zurückweichen, im entgegengesetzten Falle dagegen vorrücken. Es wäre jedoch durchaus falsch, zu glauben, daß ausschließlich

oder ganz vorwiegend am untern Ende die Schmelzung stattfinde; dieselbe erstreckt sich auf die ganze Längenausdehnung, und die Eismasse kommt infolgedessen schon in sehr reduziertem Zustande am untern Ende an.

Die Ursachen des Schmelzens der Gletscher sind sehr mannigfaltiger Art. In erster Linie ist es die Wärme der Sonne, die unmittelbare Bestrahlung, welche wenigstens in den wärmern Tagesstunden mächtig einwirkt; ferner ist es die Temperatur der umgebenden Luft, welche, außer im Winter, fast immer wärmer ist als der Gletscher und denselben energisch angreift; ganz besonders sind es aber die warmen Föhnstürme. „Der liebe Gott und die goldene Sonne vermögen nichts gegen den Schnee, wenn der Föhn nicht kommt",



Gletscher in Norwegen. Vgl. Text, S. 494.

sagt ein Schweizer Sprichwort. Und nicht nur die Oberseite des Gletschers wird durch die Luft angegriffen, sondern auch von unten wirkt dieselbe, zwischen dem Boden und dem Eise findet eine Zirkulation statt, namentlich durch das sogenannte Gletscherthor tritt ein warmer Luftstrom ein und streicht nach aufwärts, die Unterseite des Gletschers fortwährend benagend.

Eine Reihe derartiger Ursachen wirkt auf den Eisstrom von seinem Austritte aus der Firnregion bis zu seinem untern Ende ein, sie bewirkt seiner ganzen Ausdehnung nach eine Abschmelzung, so daß die Dicke desselben von oben nach unten fortwährend abnimmt. Der Betrag ist allerdings nur schwer zu schätzen, obwohl man durch Einrammen von Pfählen und Abmessen des Betrages, um welchen sie nach Jahresfrist weiter aus dem Eise hervorragten als vorher, Zahlenwerte ermittelt hat, die etwa 3 m für das Jahr betragen. Für kurze Zeiträume, einzelne Tage oder Monate während der heißen Jahreszeit, fand man natürlich verhältnismäßig hohe Werte. Am klarsten tritt aber jedenfalls die Einwirkung

der fortwährenden Schmelzung in der einfachen Thatsache hervor, daß alle Gletscher eine keilförmige, vom mächtigen Anfange gegen das dünne Ende sich zuschärfende Gestalt besitzen.

Mit dem fortwährenden Abschmelzen des Gletschers an seiner Oberfläche hängt es auch zusammen, daß derselbe, wie die Bergbewohner sagen, nichts Fremdes in sich duldet und alle Unreinigkeiten ausstößt. In der That ist der Gegensatz groß genug zwischen der Reinheit, welche die Masse des Gletschereises zeigt, und der Menge von Trümmern und Schutt, welche seine Oberfläche bedecken. Man weiß auch durch Beobachtung und Versuche ganz genau, daß Gegenstände, die in Spalten gefallen sind, oder die man in Löcher versenkt hat, nach einiger Zeit an einer tiefern Stelle wieder zum Vorscheine kommen, und man dachte früher, daß das Eis wirklich eine ausstoßende Kraft besitze und fremde Körper herauspresse; aber die genannten Erscheinungen erklären sich einfach aus dem Abschmelzen der obern Eisschichten.

Derselbe Vorgang erklärt auch, warum die Gletscher thalabwärts sehr viel reicher an Trümmern und Felsblöcken sind als in den höhern Regionen und in der Firnmulde. Es ist das nicht nur dem Umstande zuzuschreiben, daß der Gletscher, je länger er fließt, um so mehr abstürzenden Schutt von den einsäumenden Höhen erhält. Auch auf die Firnregion gelangen Trümmer, aber in dem losen Schnee versinken dieselben oder werden von Schneewehen rasch verdeckt, und erst weiter abwärts kommen sie durch Abschmelzen der Decke wieder zum Vorscheine.

Die Trümmer, welche auf der Gletscheroberfläche liegen, müssen natürlich auch deren Form und Beschaffenheit sehr wesentlich beeinflussen und zwar in sehr verschiedenartiger Weise. Größere Körper hindern die Sonne und die Luft, an das Eis zu gelangen, sie absorbieren Wärme und hindern die Schmelzung, und das Eis unter ihnen wird sich daher scheinbar erheben, d. h. es wird nur wenig angegriffen, während die ganze umliegende Fläche stark abgeschmolzen wird. Desor breitete in der heißen Jahreszeit verschiedene Körper, Wolldecken, Bretter, Rasenstücke, auf den Gletscher und fand, daß die so geschützte Fläche nach einem Tage im ersten Falle um 12,5, im zweiten um 17,5, im dritten um 18,7 mm über ihre Umgebung emporragte. Diesem Verhalten verdanken die merkwürdigen Gletschertische ihre Entstehung, Felsblöcke, die auf einer mächtigen, oft 2—3 m hohen Eissäule ruhen (s. Abbildung, S. 497); der Block hat die Wärme absorbiert, das Eis unter ihm ist stehen geblieben, während es ringsumher abgeschmolzen wurde. Schlagintweit beobachtete einige solcher Gletschertische und fand, daß das Eis unter ihnen täglich nur um 7—8 mm abschmolz, in der Gegend ringsumher dagegen 28—30 mm. So erhebt sich der Tisch in wenigen Monaten zu ansehnlicher Höhe, aber gleichzeitig beginnt auch von der Südseite her sein Fuß seitlich wegzuschmelzen, bis der Block das Übergewicht bekommt und von seinem Sockel herabstürzt. Während aber große Blöcke den Zutritt der Sonnenwärme und damit die Abschmelzung hindern, üben kleine Körper, die auf dem Eise liegen, eine genau entgegengesetzte Wirkung: sie erwärmen sich stärker, und bei ihrem geringen Volumen geben sie diese Wärme sofort an die darunterliegende Eisschicht ab und bewirken ihre Schmelzung. Erd- und Sandteile, Halme, Blätter, Insekten liegen daher im Grunde von 1—2 cm tiefen Löchern, welche wunderbar genau an ihrem obern Rande den Umriß des auf ihrem Grunde liegenden Gegenstandes wiedergeben. Alle diese fremden Körper, der Verlauf des Schmelzwassers und eine Reihe andrer Ursachen wirken zusammen, um der Gletscheroberfläche allmählich ein schmutziges, rauhes, zerfurchtes Aussehen zu geben, das sie um so mehr zur Schau trägt, je mehr die Jahreszeit vorschreitet, am meisten im Spätherbste. Dann folgen die Schneefälle des Winters, unter deren Decke sich das Aussehen des Gletschers verjüngt, und blank und rein tritt er im Frühsommer wieder aus derselben hervor.

Das Wasser, welches sich durch das Schmelzen des Eises auf der ganzen Oberflächenerstreckung des Gletschers bildet, versickert teilweise in den zahllosen feinen Haarspalten, welche sein ganzes Gefüge durchziehen, ein andrer Teil läuft in kleinen Bächen auf dem Rücken

des Gletschers, bis er durch eine Öffnung in die Tiefe stürzen kann, entweder durch eine der gewöhnlichen Gletscherspalten oder durch eine sogenannte Gletschermühle. Unter diesem Namen versteht man kaminartige Löcher im Gletscher, welche, die ganze Mächtigkeit desselben durchsetzend, bis zum Grunde niederreichen und sich bisweilen im Innern des Eises zu mächtigen Höhlen erweitern. Die Entstehung dieser Mühlen ist noch nicht ganz klargestellt, doch scheinen dieselben die Reste alter Spalten zu sein, welche sich beim Vorrücken des Gletschers geschlossen haben, so daß nur ein enger Kanal durch das durchströmende Wasser offen erhalten wurde. Man hat das häufige Auftreten der früher besprochenen Riesentöpfe in ehemals vergletschertem Terrain mit solchen Gletschermühlen in Verbindung gebracht,



Ein Gletschertisch vom Rhônegletscher. Vgl. Text, S. 496.

indem man dem in dieselben herabstürzenden Bache die Erzeugung der Strudelbewegung zuschrieb, welche wir als unerläßliche Bedingung für die Entstehung jener Kessel kennen gelernt haben. Baltzer hat jedoch dagegen hervorgehoben, daß infolge der Bewegung der Gletscher auch die Mühlen sich verschieben und daher die versinkenden Wassermassen nicht lange genug eine und dieselbe Stelle des Bodens treffen, um eine derartige Wirkung hervorzubringen; anders verhält es sich aber vielleicht mit jenen alten Riesenkesseln aus der Diluvialzeit, welche sich nicht allzu selten in der norddeutschen Ebene finden, weit von jeder Terraingestaltung, welcher die Bildung einer energischen Strudelbewegung zugeschrieben werden könnte. Da die gewaltigen, ungefähr horizontal liegenden Eismassen, welche Norddeutschland damals bedeckten, sich jedenfalls nur überaus langsam bewegten, so konnten die Mühlen sich eher an einem Punkte halten und die Aushöhlung der Kessel bewirken.

Alles Schmelzwasser sammelt sich auf dem Boden des Gletschers und fließt, seiner natürlichen Neigung folgend, in einem oder mehreren Gletscherbächen ab. Wo nun ein solcher

mit reichlicher Wassermasse hervorbricht, bildet sich häufig ein mächtiges Gewölbe von mehreren Metern Höhe, das **Gletscherthor**, aus welchem der Bach ins Freie tritt. Diese Thore und die sich anschließenden Eisgrotten gehören zu den gerühmtesten Schönheiten der Gletscherwelt, deren spiegelnde Wölbung ein herrliches Farbenspiel von blauem und rötlichem Lichte zeigt. Die beigeheftete Tafel „Das Gletscherthor am Rhônegletscher" gibt ein treffliches Beispiel. Leider hat der gewaltige Rückgang der Gletscher in den letzten Dezennien gerade einige der wunderbarsten Eispaläste zerstört.

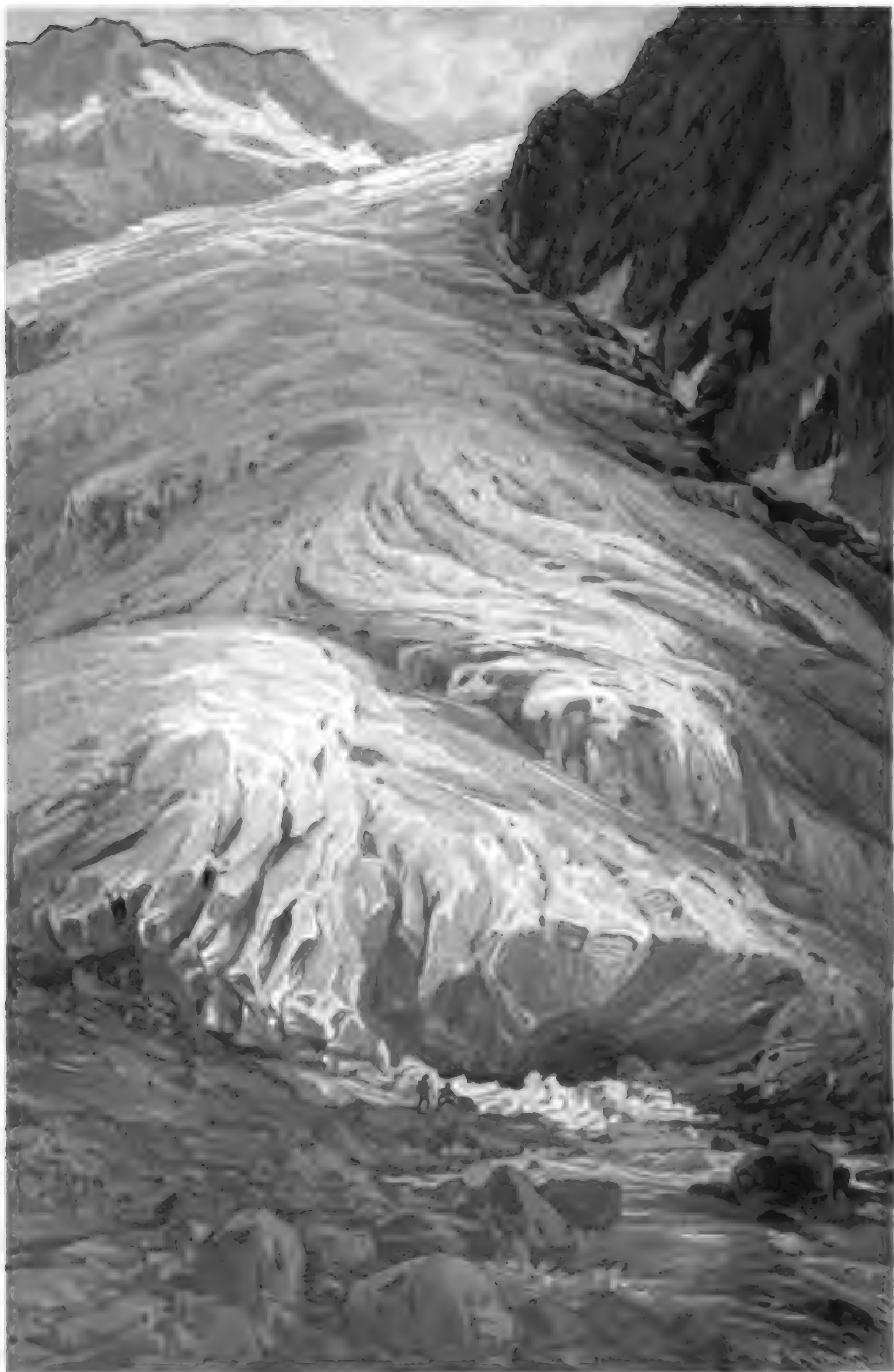
Die Wassermenge des Gletscherbaches wechselt sehr stark mit den Tages- und Jahreszeiten; namentlich an heißen Sommernachmittagen rauschen mächtige Ströme trüben,



Gletscherspalten. Vgl. Text, S. 499.

milchigen oder grauen Wassers hervor, während der Abfluß des Morgens weit schwächer ist und im Winter natürlich die Schmelzung gar keinen Zuschuß liefert. Wenn trotzdem aus der Stirn vieler Gletscher auch bei kaltem Wetter Bäche hervortreten, die dann klar und kristallhell sind, so rühren deren Wasser lediglich von Quellen her, welche unter dem Gletscher dem Boden entspringen.

An das Gletscherthor schließen sich oft ungeheure Hohlräume an, welche sich zwischen Gestein und Eis weit verbreiten, so daß manche Gletscher auf einem großen Teile ihrer Erstreckung den Boden nicht berühren, sondern, von einzelnen gewaltigen Pfeilern, „Füßen", getragen, in mächtigen Gewölben den Boden überspannen. **Schlagintweit** drang in einer solchen Höhle mehr als 200 m weit unter dem Marcellgletscher vor; in einem Falle wurde durch einen merkwürdigen Zufall sogar eine die ganze Länge eines mächtigen Gletschers durchziehende Höhlung nachgewiesen. Vor Jahren stürzte ein Mann aus Grindelwald in



DAS GLETSCHERTHOR AM RHONEGLETSGHER.

. . . die Tiefe

eine Spalte des Grindelwaldgletschers; er glitt in derselben etwa 120 m weit in die Tiefe und gelangte zwar mit gebrochenem Arme, aber lebend und bei Bewußtsein auf den Boden des Gletschers. Er suchte aus seinem frostigen Kerker zu entrinnen; thalabwärts erwies sich das als unmöglich, als er aber der Höhle des Gletscherbaches thalaufwärts folgte, führte sie ihn endlich in mächtiger Höhe am Fuße des Wetterhornes wieder ans Tageslicht.

Auch an den Seiten löst sich durch Abschmelzen und Schwinden sowohl das Eis des Gletschers als der Firn der Hochmulde von den umgebenden Felsen ab. Es bildet sich oft zwischen beiden die sogenannte Randkluft, welche namentlich in der Firnregion nicht sehr tief zu sein pflegt, aber doch bei ungünstigen Schnee- und Eisverhältnissen zu den lästigsten Hindernissen bei Bergbesteigungen gehört. Weit wichtiger jedoch sind jene Spalten, welche sich an verschiedenen Stellen des Gletschers im Eise bilden (s. Abbildungen, S. 498 und 500). Diese tückischen Klüfte, die bei Mangel an Vorsicht und Erfahrung zu einer ernsten Gefahr der Gletscherwanderung werden, sind Risse im Eise, welche sich infolge zu starker Spannung bilden. Mehrfach hat man schon deren Entstehung beobachtet, ein Krach oder ein klingender Ton bezeichnet den Anfang, man sieht anfangs einen einfachen Sprung im Eise, der sich bald schnell, bald langsam fortsetzt und zu klaffen beginnt; in der Regel sind dieselben zu mehreren geschart, da die gleiche Ursache die Entstehung einer Anzahl von solchen Spalten in unmittelbarer Nachbarschaft hervorruft. Breite und Tiefe werden oft sehr bedeutend; in einer derselben hat Agassiz mit einer Senkleine von 260 m Länge den Grund nicht erreicht. Je nach ihrer Lage und der Art ihrer Entstehung unterscheidet man verschiedene, sehr wohl charakterisierte Arten von Klüften. Wo der Gletscher einen Felsvorsprung zu passieren hat, da treten rings um diesen herum Berstungen, Randspalten, ein, welche sich meist strahlenförmig um den hemmenden Pfeiler stellen; Längsklüfte, der Achse des Gletschers mehr oder weniger parallel, bilden sich hauptsächlich da, wo die Eismasse, aus engerm Bette in eine Weitung vortretend, sich plötzlich ausbreitet. Die Querspalten endlich, die wichtigsten und verbreitetsten von allen, verdanken ihre Entstehung Unebenheiten des Thalbodens; wo dieser sich rascher senkt und eine stärkere Neigung annimmt, da wird das Eis auf der abschüssigen Unterlage sich schneller bewegen und infolgedessen von dem weiter oben gelegenen, noch langsam vorrückenden Eise durch eine Spalte getrennt werden. Je stärker der Unterschied in der Neigung ist, und je rascher er eintritt, um so mehr häufen sich die Zerreißungen, und an solchen Stellen, welche ein Bach etwa in einem Wasserfalle übersetzen würde, an höhern Thalstufen, bilden sich die sogenannten Gletscherbrüche aus einer Häufung zahlreicher gewaltiger Querspalten: durch zahlreiche Klüfte zerteilt, steht das Eis in Scheiben, in Türmen, Pyramiden, Mauerzinnen da, dazwischen Blöcke und Trümmer gestürzt, das Ganze ein gigantisches Chaos, ein Labyrinth wildphantastisch geformter und durcheinander geworfener Eismassen, von dem keine Vorstellungsgabe sich einen Begriff zu machen im stande ist.

Man sollte erwarten, daß thalabwärts vom Gletscherbruche auf der ganzen Strecke bis zu seinem Ende der Eisstrom nur noch ein wildes Haufwerk von Blöcken, Trümmern und Schollen sein werde, die sich regellos übereinander schieben. Allein das ist nicht der Fall; die zertrümmerten Eismassen vereinigen sich unterhalb des Absturzes wieder zu einem normalen Gletscher, sie verwachsen wieder zu einer homogenen Eismasse, die wenige Hundert Meter unterhalb des Bruches keine Spur mehr von den gewaltigen Störungen zeigt, welche sie erlitten hat. Ja, es geht das so weit, daß bei kleinern Gletschern, welche an hohen Steilwänden ihre Massen nicht in einem Bruche hinabwälzen, sondern von Zeit zu Zeit die über den Rand des Absturzes hervorgeschobenen Eismassen krachend und polternd in die jähe Tiefe stürzen lassen, daß selbst in diesen Fällen am Fuße der Felswand das Material der Eislawinen wieder zu einem regenerierten Gletscher zusammenwächst.



Gletscherkluft am Grindelwaldgletscher. Vgl. Text, S. 499.

Wir haben damit eine der wichtigsten und merkwürdigsten Eigentümlichkeiten des Gletschereises kennen gelernt, das Zusammenwachsen getrennter Teile durch Wiedergefrieren, eine Erscheinung, die sich nur dem Grade nach verschieden auch darin zeigt, daß jede Gletscherspalte sich schließt und ihre Ränder verwachsen, sobald die Ursache ihrer Entstehung nicht mehr wirkt. Dieses Phänomen gibt uns den Schlüssel für eine wenigstens bis zu einem gewissen Grade befriedigenden Deutung der Gletschererscheinungen überhaupt an die Hand, denn von einem wirklichen Verständnisse aller Vorgänge sind wir leider noch weit entfernt.

Ursprünglich nahm man an, daß Wasser in die Spalten und Haarrisse des Eises eindringe, hier gefriere und durch seine Ausdehnung eine Auseinanderschiebung und dadurch die Bewegung verursache. Diese „Dilatationstheorie" konnte sich jedoch nicht halten, weil durch einen derartigen Vorgang nicht ein einfaches Vorrücken der Massen, sondern höchstens ein allseitiges Aufquellen hervorgebracht werden könnte. Man hat daher eine andre Erklärung gesucht, die lediglich in der Schwere der Massen die Ursache ihrer Bewegung sieht. Saussure hat zuerst diese Ansicht ausgesprochen, aber allerdings in einer Form, in welcher sie nicht ausreichend begründet schien; er nahm an, daß der ganze Gletscher einfach auf seiner geneigten Unterlage fortgleite. Die Erscheinungen an Gletscherbrüchen, die Wiedervereinigung der zerrissenen Eispartien, die Ausbreitung an weiten, die Zusammenziehung an engen Thalstellen werden auf diese Weise nicht erklärt, und überdies müßte bei einer normalen Rutschung die Beschleunigung eine progressiv zunehmende sein.

Trotz dieser Schwierigkeiten muß aber doch die Idee als richtig gelten, daß nur die Schwere des Eises die bewegende Kraft ist. Wenn wir uns das vergegenwärtigen, was oben über die Bewegung der Gletscher gesagt wurde, so sehen wir, daß dieselbe bis in alle Einzelheiten alle jene Eigenschaften zeigt, welche beim Fließen eines Stromes in seinem Bette hervortreten. Rascheres Fortschreiten in der Mitte, im Stromstriche, Verzögerung an den Stellen der Reibung, am Boden und an den Rändern, Beschleunigung an engen und geneigten, Verzögerung an flachern und breitern Stellen, alles das zeigt uns den Gletscher als eine wirklich fließende, schwach plastische Masse. Nun ist allerdings das Gletschereis keine absolut spröde und starre Masse, es besitzt einen gewissen Grad von Nachgiebigkeit; aber dieselbe ist nicht ausreichend, um die vorhandene Beweglichkeit hervorzubringen und die Regeneration der Gletscher unterhalb der Brüche zu bewerkstelligen.

Die Erklärung liegt in den Erscheinungen der „Regelation", des Wiedergefrierens des Eises, wie sie von Helmholtz, Thomson und Tyndall dargelegt wurde. Das Eis dehnt sich beim Gefrieren aus, und dem entsprechend wird sein Gefrierpunkt durch hohen Druck erniedrigt; er liegt dann nicht mehr bei 0°, sondern bei einer tiefern Temperatur. Wenn man also Eis von 0° einem Drucke unterwirft, so ist seine Temperatur nun über dem Gefrierpunkte, d. h. es schmilzt, und da durch das Schmelzen Wärme absorbiert, gebunden wird, so sinkt die Temperatur des dabei erzeugten Schmelzwassers unter 0°. Die Folge davon ist, daß das Wasser wieder gefriert, sobald der Druck aufhört, daß also die Regelation eintritt. Die praktische Anwendung dieses physikalischen Satzes findet in ausgedehnter Weise beim Anfertigen von Schneebällen statt, welches bekanntlich bei beginnendem Tauwetter am besten gelingt und um diese Zeit von der spielenden Jugend am eifrigsten betrieben wird; der Schnee hat dann die Temperatur von 0° und bietet die günstigsten Bedingungen für die Anstellung des Experimentes. Der Druck der Hand beim Ballen des Schnees bewirkt Schmelzung, und wenn man zu drücken aufhört, tritt Regelation ein, d. h. der Schnee ballt sich gut.

In dem Eise des Gletschers wird je nach der Neigung und der Masse an verschiedenen Stellen verschiedener Druck herrschen, und wo dieser verhältnismäßig stark ist, tritt

Schmelzung ein; aber das unter 0° abgekühlte Wasser bleibt nicht an den gedrückten Stellen, es entweicht durch die feinen Haarrisse nach tiefern, weniger gepreßten Stellen, wo es wieder gefriert. Die obere Partie hat dabei eine Volumverminderung erlitten, und so befindet sich das Eis in einem fortwährenden Zustande der Zerquetschung und des Wiederzusammenfrierens, einer ins kleinste gehenden Zerbröckelung, welche die Beweglichkeit desselben verständlich erscheinen läßt, wenn auch die Theorie zu einer ganz ausreichenden Erklärung des ganzen Phänomens und aller seiner Einzelvorgänge nicht ausreicht.

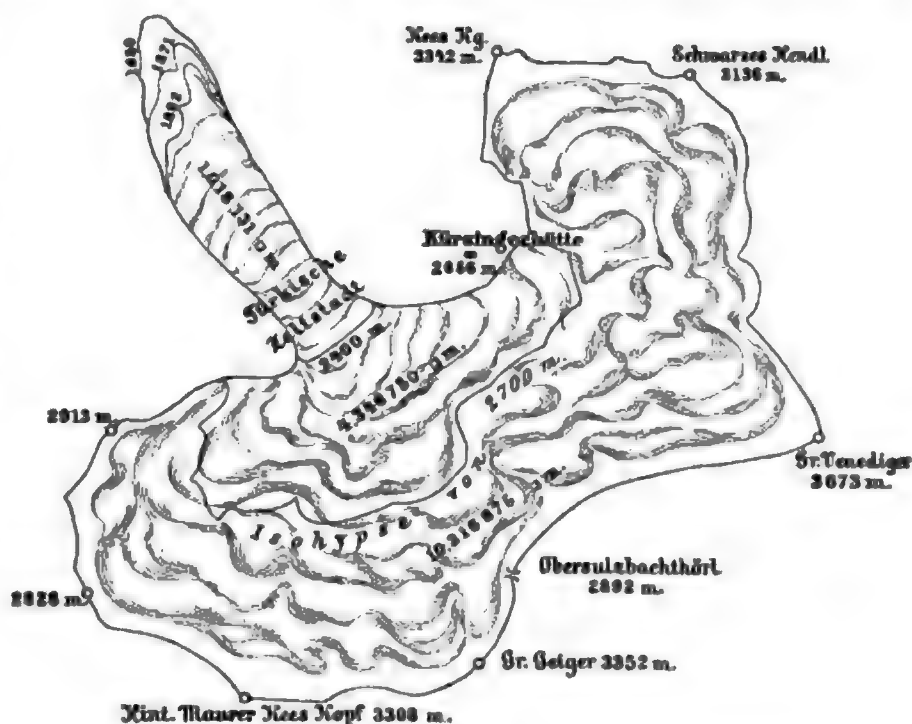
Nachdem wir die wichtigsten Bewegungserscheinungen der Gletscher kennen gelernt und wenigstens in allgemeinsten Umrissen ihre Ursachen betrachtet haben, ist es möglich, etwas näher auf eine merkwürdige Erscheinung einzugehen, auf das periodische Anwachsen und Zurückweichen der Gletscher. Die auffallendsten Beispiele dieser Art werden vom Vernagt- und Rofengletscher im Ötzthale berichtet, welche bisweilen mit großer Beschleunigung vorrücken und zur Bildung eines Eissees Anlaß geben, der sich unter mächtigen Verwüstungen entleert, worauf nach einiger Zeit die Gletscher wieder weit zurückgehen. Solche Vorstöße werden aus den Jahren 1600, 1677, 1770—72, 1820—22 und 1840—45 verzeichnet. Für das Vorschreiten des Gletscherendes in den letzten dieser Jahre fand Stotter folgende Maße:

Zeit des Anwachsens	Gesamtwachstum Meter	Fortschritt in einem Tage Meter
13. November 1843 bis 18. Juni 1844	376,0	1,72
18. Juni 1844 „ 18. Oktober 1844	105,6	0,68
18. Oktober 1844 „ 3. Januar 1845	132,8	1,73
3. Januar 1845 „ 19. Mai 1845	379,2	2,78
19. Mai 1845 „ 1. Juni 1845	129,6	9,92

Dabei ist zu bemerken, daß diese Zahlen nicht die Bewegung des Eises, sondern die Schnelligkeit ausdrücken, mit welcher das Gletscherende über vorher eisfreies Land vorrückt, daß also trotz des Abschmelzens an der Stirn diese zeitweise fast 10 m im Tage zurückgelegt hat. Es ist das die schnellste Eisbewegung, die man in den Alpen bisher überhaupt beobachtet hat, aber die Vermutung liegt nahe, daß sie keine ganz abnorme ist. Die Verwüstungen, die der Vernagtgletscher anrichtet, haben von jeher die Aufmerksamkeit auf ihn gelenkt; doch darf man annehmen, daß gar mancher Gletscher ähnliche Erscheinungen bietet, die in einem wilden, unbewohnten Alpenthale und ohne die zufällige Begleiterscheinung des Ausbruches eines gestauten Gletschersees unbeachtet bleiben.

Soweit geschichtliche Überlieferung reicht, scheint das 17. und 18. Jahrhundert eine ziemlich allgemeine Zunahme der Vereisung in den Alpen mit sich gebracht zu haben, wenigstens sind die Nachrichten von früher gangbaren Pässen, von Wäldern und Weideland, die jetzt von Eis bedeckt sind, zu gut verbürgt und zu allgemein, um eine andre Erklärung zuzulassen. In unserm Jahrhundert folgte auf die naßkalten Hungerjahre 1815 und 1816 ein Fortschritt der Gletscher, gegen Ende der zwanziger Jahre scheint ein Rückgang eingetreten zu sein, dann aber fand eine allgemeine Vergrößerung der Eismassen statt, die zu Anfang und in der Mitte der fünfziger Jahre der jetzigen großartigen Rückzugsperiode Platz machte. Etwa seit 1856 ist der Rückgang ganz allgemein; manche Gletscher haben ein volles Kilometer an Länge verloren, und im Wallis allein sind 60 km Land eisfrei geworden. Wie an räumlicher Ausdehnung, haben alle Gletscher und Firnfelder auch an Mächtigkeit verloren und bilden nur noch abgemagerte Reste der frühern Entwickelung. Diesen Umstand, daß nicht die horizontale Verkürzung, sondern die Verminderung der

Eisdicke das richtige Maß für den Eisverlust gibt, muß man stets im Auge behalten, wenn man nicht durch gewisse Unregelmäßigkeiten überrascht werden soll. Wenn man z. B. hört, daß der Aargletscher nur um 40 m in der Zeit zurückgegangen ist, während welcher der nahegelegene Rhônegletscher 900 m an Länge verloren hat, so klingt das sehr rätselhaft, es erklärt sich aber dadurch, daß der Rhônegletscher sich am untern Ende sehr flach ausbreitet und sehr dünn wird, während der Aargletscher in bedeutender Dicke an der Stirn austritt, so daß durch gleiche Abschmelzung am letztern natürlich ein sehr viel kleineres Areal eisfrei wird als beim erstern; an Mächtigkeit hat auch der Aargletscher sehr stark verloren. Den ganzen Betrag des Verlustes genau zu ermitteln, ist natürlich nicht möglich, doch läßt sich derselbe wenigstens annähernd schätzen. Der Obersulzbachgletscher, welcher sich vom Venediger gegen das Pinzgau hinabzieht, hatte nach E. Richter die größte Ausdehnung im Jahre 1850. Seither ist er bis 1882 um etwa 430 m zurückgegangen, ein Betrag, dessen Verhältnis zum gesamten Areale die nebenstehende Skizze zeigt; außerdem konnte aus der Lage der Seitenmoräne von 1850 ziemlich genau der Verlust an Mächtigkeit bemessen werden, der für manche Teile 50—80 m beträgt. Die Gesamtverminderung bis 1882 wird auf nicht weniger als 60 Mill. Kubikmeter geschätzt. Die „ausgeaperte" (eisfrei gewordene) Fläche betrug ½ Mill. QMeter.



Karte des Obersulzbachgletschers und seiner Firnmulde.

Wenn wir nun die Ursachen dieses allgemeinen Rückganges ins Auge fassen, so können deren wohl unmittelbar nur zweierlei gedacht werden: vermehrte Abschmelzung oder verminderter Eiszufluß, der selbst durch Verminderung der Schneevorräte in der Firnmulde bedingt ist. Mit andern Worten, es muß sich die mittlere Jahrestemperatur gehoben haben, oder es muß die Niederschlagsmenge gesunken sein, denn offenbar beruht der Rückzug darauf, daß seit einer Reihe von Jahren mehr Eis abgeschmolzen, als von oben ersetzt wird.

Danach fragt es sich, welchem dieser beiden Faktoren die Hauptwirkung zugeschrieben werden muß. Es gibt ein sehr gutes Mittel, um darüber zu entscheiden: ist nur die stärkere Abschmelzung infolge größerer Sommerwärme die Ursache, dann muß jedes Jahr eine seinem Witterungscharakter und seiner Temperatur genau entsprechende Wirkung haben, es müßten in den letzten 30 Jahren alle Sommer verhältnismäßig warm gewesen sein und sich der Grad des Rückganges in jedem einzelnen Jahre genau danach regeln. Das ist nicht der Fall, wir haben in diesem Zeitraume einige auffallend kühle Sommer gehabt; aber denselben entspricht kein entschiedener Stillstand des Rückganges, noch weniger ein Fortschritt der Gletscher, sondern der Rückzug erfolgt mit steigender Intensität, die selbst durch einzelne ungünstige Sommer nicht wesentlich beeinflußt wird.

Ganz anders verhält es sich, wenn eine Verminderung der Niederschlagsmenge die Ursache der Erscheinung bildet. Ein einzelner schneereicher Winter kommt nicht sofort in einer raschern Gletscherbewegung zum Ausdrucke, sondern diese regelt sich nach dem Durchschnitte einer ganzen Reihe von Jahren; es bleibt also das Resultat von einzelnen Ausnahmen und untergeordneten Schwankungen unberührt, und dies ist in der That der Charakter des Gletscherrückganges in den letzten Dezennien. Wir sind, wie Forel gezeigt hat, durchaus berechtigt, daraus zu schließen, daß Verminderung der durchschnittlichen Niederschlagsmenge einer größern Reihe von Jahren eine Verlangsamung der Gletscherbewegung mit sich gebracht hat, wie wir sie ja auch in sehr auffallender Weise in der überaus trägen Bewegung im untersten Teile des Rhônegletschers wahrgenommen haben.

Es ist auch sehr wohl einzusehen, welche Ursachen eine derartige Wirkung bedingen. Eine Beschleunigung der Gletscherbewegung erfordert eine sehr erhebliche Verstärkung des Druckes von oben, wie ihn der Schneefall eines einzigen niederschlagsreichen Jahres in der Firnmulde nicht hervorzubringen vermag; folgt vollends darauf wieder ein trockner Jahrgang, so heben sich die Wirkungen beider auf, ehe sie in einer merklichen Veränderung der Gletscherbewegung zum Ausdrucke kommen. Anders verhält es sich, wenn eine Reihe nasser Jahre aufeinander folgt; dann füllt sich die Hochmulde mit ungeheuern Schneemassen, die der Gletscherzunge eine raschere Bewegung beibringen, und diese Wirkung hält nun an und vermag das Eintreten einiger normaler und selbst eines und des andern trocknen Jahres zu überdauern. Ebenso verhält es sich im entgegengesetzten Falle: haben einmal einige trockne Jahre die Firnbecken stark geleert, dann wird die Gletscherbewegung langsamer und immer langsamer, einzelne nasse Jahre können die Firnmulden noch nicht wieder füllen, und so kann eine Rückzugsperiode verhältnismäßig sehr lange andauern.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß nur eine mehrere Jahre dauernde Änderung im durchschnittlichen Charakter beschleunigend oder verzögernd auf die Gletscherbewegung wirken kann; es ist aber auch ferner klar, daß diese Wirkung nicht unmittelbar erfolgen wird, sondern daß die Verschiebung oder der Rückzug des Gletscherrandes immer einige oder mehrere Jahre später eintreten muß als der Beginn derjenigen Witterungsverhältnisse, durch welche derselbe bedingt ist. Eine Entscheidung, wie groß diese Verspätung ist, wäre vermutlich sehr leicht, wenn wir seit langer Zeit aus vielen Alpengegenden und namentlich auch von einigen hoch gelegenen Bergstationen meteorologische Beobachtungsreihen hätten; leider ist das jedoch nur im beschränktesten Maße der Fall, es liegen nur für sehr wenige Orte solche Daten für einen längern Zeitraum vor. Immerhin zeigen die Aufzeichnungen aus Klagenfurt und Genf, welche ziemlich weit zurückreichen, daß gegen Ende der vierziger Jahre unsers Jahrhunderts eine Periode eingetreten zu sein scheint, welche in der Niederschlagsmenge unter dem Durchschnitte bleibt, und dieser kann man mit vieler Wahrscheinlichkeit den Rückgang der Gletscher in den letzten 30 Jahren zuschreiben. In neuester Zeit sind wieder einige sehr nasse Jahrgänge vorgekommen; vielleicht stehen wir vor einer Umkehr, vor einem neuen Vorrücken der Gletscher. Anzeichen eines solchen beginnen sich in den Westalpen zu zeigen, im allgemeinen bemerkt man noch ziemlich wenig, was auf eine solche Änderung hinwiese, und namentlich die Firnmulden, die vor allem entscheiden, haben sich noch nicht wieder gefüllt.

Wir haben uns bisher nur mit den Gletschern der Alpen befaßt. Dieselben Erscheinungen treten in größerm oder kleinerm Maßstabe in zahlreichen andern Hochgebirgen auf; in Europa haben noch die Pyrenäen beschränkte Gletscher aufzuweisen, und in mächtiger Entwickelung finden sich solche in Norwegen, dagegen fehlen sie den Karpaten und allen Gebirgen Südosteuropas; dies ist keine sehr auffallende Erscheinung, da jene Gebirge sich nicht über 3000 m erheben. In Asien tragen Kaukasus, Himalaja, Karakorum, Kuenlün,

Thianschan und andre Gebirge bedeutende Gletscher; namentlich diejenigen des Karakorum verdienen wegen ihrer mächtigen Entwickelung hervorgehoben zu werden. Dagegen sind in dem riesigen Altai trotz seiner Lage unter dem 50. Breitengrade und des kalten Klimas, wohl infolge der geringen Niederschlagsmenge, keine Gletscher vorhanden. In Nordamerika ist die Eisentwickelung gering und, abgesehen von der Polarregion, auf das Kaskadengebirge im Westen beschränkt. Auffallend schwach ist wegen der großen Trockenheit die Gletscherentwickelung in den gewaltigen Hochregionen der südamerikanischen Anden; erst im äußersten Süden des Kontinentes, wo die Berge keine sehr beträchtliche Höhe mehr erreichen, aber die Regen- und Schneefälle sehr reichlich sind, finden wir überaus ent-



Grönländisches Inlandeis. Vgl. Text, S. 506.

wickelte Gletscher, welche sich an den Gebirgen und auf den Inseln der Westküste außerordentlich weit herab erstrecken und sich in einer Gegend, die nicht weiter als Berlin vom Äquator entfernt ist, bis ins Meer hinabschieben. Zwischen den üppigen, immergrünen Wäldern des Feuerlandes steigen die Eisströme, von dem übermäßig nassen Klima begünstigt, bis in die Fluten hinunter, in denen sich noch manche Muschelformen von entschieden tropischem Typus aufhalten (Voluta, Terebra). Ähnliche Verhältnisse finden wir auch auf der Südinsel von Neuseeland; nicht weiter als die lombardische Ebene vom Äquator entfernt und in einer Region, deren mittlere Jahrestemperatur diejenige von Wien übersteigt, senken sich die Gletscher zwischen subtropische Wälder herab, in denen die Baumfarne ihre zarten Wedel ausbreiten. Die Inseln östlich vom Feuerlande, die Falklandinseln, Südgeorgia, sind, obwohl nur wenig vom 50. Breitengrade entfernt, doch total vergletschert.

In den polaren Gegenden treffen wir ebenfalls auf Gletscher, welche denjenigen der Alpen ganz ähnlich sind. In größerer Verbreitung aber finden wir eine etwas verschiedene merkwürdige Ausbildung des Glazialphänomens, nämlich zusammenhängendes **Inlandeis**, zu dessen hauptsächlichsten Stätten das ganze Land um den Südpol, ferner Grönland mit

Ausnahme des Küstensaumes, Spitzbergen, Nowaja Semlja und Franz Joseph-Land gehören, während die ausgedehnten Landstrecken nördlich von Nordamerika und das flache nordasiatische Tundrengebiet eisfrei sind. Am besten ist besonders durch die skandinavischen Polarexpeditionen das grönländische Inlandeis bekannt geworden. Wenn auch mit kleinern Unregelmäßigkeiten und Spalten versehen, bedeckt dasselbe doch mit einer den großen Hauptzügen nach gleichmäßigen, schwach ansteigenden Fläche das ganze Land, Berg und Thal unter seiner Decke vollständig verhüllend. Im Zentrum des Landes scheint das Eis die größte Höhe zu erreichen und wölbt sich von da als ein flacher Dom nach allen Seiten der Küste zu; gegen die Ränder beträgt die Neigung etwa 2°, etwas weiter im Innern nur etwa 17′. Die Mächtigkeit dieser Eismassen muß eine ganz riesige sein, wenn auch bei weitem nicht so kolossal, als man wohl stellenweise aus theoretischer Voreingenommenheit angenommen hat. Bodenlos tiefe Klüfte durchziehen die Eismasse, die Oberfläche ist wellig, und zahlreiche, teilweise sehr wasserreiche Bäche fließen in den Einsenkungen (s. Abbildung, S. 505); sie sammeln sich in der Regel zu Seen auf der Eisfläche, welche, meist durch einen die Dicke des Eises durchbohrenden Kanal, vielleicht durch gewaltige Systeme von Eisgrotten sich nach der Tiefe stürzend, auf den Felsboden ihr Wasser abgeben. Oft auch versinken die Flüsse in riesigen Gletschermühlen. Im Sommer, wenn der Schnee abgeschmolzen ist, zeigt sich das Eis vielfach von grauer, thoniger Erde beschmutzt, welche sich oft in hinreichender Menge sammelt, um in der warmen Jahreszeit eine dürftige Vegetation auf der Oberfläche des Eises zu unterhalten.

Die Bewegung des Inlandeises scheint, seiner sehr geringen Neigung entsprechend, eine sehr langsame zu sein. Stellenweise schiebt sich dasselbe in mächtiger Breite gegen das Meer vor, so weit, als es seiner Masse nach auf dem Boden des Meeres aufruhen kann; wo das Wasser aber zu tief ist, um dies zu gestatten, da lösen sich allmählich einzelne Schollen von der Stirn ab und schwimmen als Eisfelder, oft von ansehnlicher Größe, von dannen. Anders aber verhält es sich, wie schon oben erwähnt, wenn ein bergiger Uferrand das Vordringen des Eises hindert und dasselbe nur durch einzelne verhältnismäßig schmale Öffnungen hervordringen kann. An diesen Stellen erreicht das Eis die größte Schnelligkeit, die überhaupt bis jetzt beobachtet worden ist, bis zu 20 m in einem Tage, es entstehen Gletscherbrüche der gewaltsamsten und größten Art, „reißende Eisfälle, wobei die mächtige Eisdecke, zersplittert und zerbrochen, mit verhältnismäßig heftiger Fahrt einen wenig breiten, steilen Thalweg hinuntergepreßt wird, wo die Eisblöcke mit mächtigem Getöse einer über den andern dahinstürzen, und von wo Eisberge von riesigen Dimensionen zu Hunderten und Tausenden hinuntergeschoben werden" (Nordenskjöld).

Diese Gletscherbrüche des Inlandeises sind es, welche die polaren Meere mit Eisbergen versehen; die Gletscher „kalben", wie die Nordfahrer sagen, und von südwärts gerichteten Strömungen getrieben, schwimmen die „Kälber" oft bis weit in die gemäßigte Zone hinaus.

Erosion und Transport durch Gletscher.

Wir haben bis jetzt nur das Gletschereis und seine Bewegungen für sich betrachtet, nicht aber die Wirkung, welche demselben bei der Zerstörung der Gesteine und dem Transporte von Materialien zukommt. Es ist bekannt, daß die Gletscher eine Menge von Gesteinstrümmern von den größten Blöcken bis zum feinsten Thone transportieren; wer einen wohlausgebildeten Gletscher betreten und mit offenen Augen die Erscheinungen verfolgt hat, der kennt die Moränen, die Schuttanhäufungen, welche derselbe mit sich führt und an seinem Ende anhäuft. Insbesondere fallen die Oberflächenmoränen ins Auge, die Trümmerzüge oder Steinwälle, welche auf der Oberseite des Eises liegen.

Über die Herkunft dieser Materialien kann kein Zweifel sein: es sind Gesteinstrümmer, welche von überragenden Steilwänden und Abhängen auf die Firnmulde herabfallen und nun vom Eise bei seiner Bewegung nach abwärts transportiert werden. Da beim Sturze von den Höhen Trümmer der verschiedensten Größe, vom riesigen Blocke bis zu dem kleinsten Splitter, herabgelangen, und da dem Gletscher jene sichtende Kraft fehlt, welche dem fließenden Wasser eigen ist, so sind diese Oberflächenmoränen durch die wilde Unordnung, die vollständige Ungleichmäßigkeit des Materiales ausgezeichnet. Nach der Lage unterscheidet man verschiedene Arten von Moränen; die Seitenmoränen bilden lange Schuttwälle, welche, bald auf dem Rande des Eises, bald neben diesem auf dem Gehänge gelegen, den Gletscher in seiner ganzen Erstreckung von der Firnmulde nach dem Ende begleiten. Die Bildung der Seitenmoränen bedarf kaum eines Wortes der Erklärung, es ist der unmittelbar von den Seitenwänden herabkommende Gesteinsschutt. Ebenso einfach ist die Deutung jenes gewaltigen Walles, welcher das vordere Ende des Gletschers zu umgeben pflegt, der Stirnmoräne; es sind die Trümmer, welche der Eisstrom auf seinem Rücken getragen hat, und welche sich beim Schmelzen des Endes vor demselben lagern und im Verlaufe der Jahre zu einem mächtigen Damme auftürmen. Im Gegensatze zu diesen beiden Arten, welche in einem Teile der Schweiz zusammen mit dem Namen „Firnstoß" bezeichnet werden, stehen die Mittelmoränen oder Gufferlinien, welche allerdings nicht bei allen Fernern vorhanden sind, unter Umständen aber in größerer Zahl nebeneinander auftreten. Diese Gufferlinien sind bisweilen nur Aneinanderreihungen einzelner Blöcke, oft aber sind es mächtige Wälle, welche langgestreckt der Richtung des Gletschers parallel laufen; es hat z. B. der Gorner Gletscher bei Zermatt im Wallis nicht weniger als 7—8 ausgezeichnet scharfer, genau paralleler Mittelmoränen. Auf dem Aargletscher scheidet eine gewaltige Mittelmoräne die beiden Hauptteile, den Lauteraar- und den Finsteraargletscher, von denen der erstere 7, der letztere 8 kleinere Gufferlinien trägt. Die größern Mittelmoränen erscheinen als bedeutende Wälle, ja diejenige des Aargletschers erreicht eine Höhe von 42 m und eine Breite von 200 m. Der Unerfahrene staunt über die ungeheuern Trümmermassen, welche in dieser Weise thalab transportiert werden; allein eine genauere Besichtigung läßt sehr bald die wahre und sehr eigentümliche Natur dieses Dammes erkennen: er besteht fast ganz aus Eis, und nur seine Oberfläche ist mit Blöcken und Trümmern bedeckt; wir haben dasselbe Verhältnis vor uns, das wir bei den Gletschertischen kennen gelernt haben; wie bei diesen ein Block durch Absorption und Abhaltung der Wärme das unter ihm gelegene Eis vor der Schmelzung schützt, daß es pfeilerartig über die umgebende Fläche hervorragt, so schützt in den Gufferlinien eine zusammenhängende Schutt- und Trümmerdecke das darunterliegende Eis, so daß es als Wall seine Umgebung überragt.

Über die Entstehung der Gufferlinien erhalten wir Aufschluß, wenn wir dieselben nach aufwärts verfolgen; sie gehen nicht bis in die Firnmulde zurück, sondern stoßen unabänderlich an einer Stelle, wo sich zwei von oben kommende Gletscher vereinigen, an die Felskante an, welche die zwei Zuflüsse voneinander scheidet, und man erkennt, daß die Mittelmoräne aus einer Vereinigung der Seitenmoränen der beiden zusammenstoßenden Gletscher entsteht, die sich nun an der Linie weiterbewegt, in welcher im weitern Laufe thalabwärts die ursprünglich getrennten Eismassen aneinander grenzen (s. Abbildung, S. 508).

Es zeigt das in auffallender Weise, wie außerordentlich selbständig sich zwei Eisströme nach ihrer Vereinigung verhalten, und wie wenig sie ihr Material vermischen. Zwar sieht man auch bei Flüssen mit verschieden gefärbtem Wasser nach ihrer Vereinigung oft noch eine Strecke weit eine scharfe Grenze, aber das ist doch sehr geringfügig gegen die Erscheinung bei Gletschern, die auf Jahre dauerndem Wege ihr Eis nicht vermischen; ja, diese Selbständigkeit geht so weit, daß sich die Gufferlinien sogar oft über die Gletscherbrüche

fortsetzen. In dem wilden Chaos des Eiskataraktes allerdings gelingt es nicht leicht, ihre Spur zu verfolgen; aber unter demselben, wo der Gletscher wieder seine normale Gestalt annimmt, finden sich auch die Trümmer häufig genug wieder zu einer geschlossenen Moräne zusammen. Erst gegen das untere Ende pflegt sich die Deutlichkeit der Mittelmoränen zu verwischen; mit der in der Regel eintretenden Ausbreitung des stark reduzierten Eises, wohl auch durch Herunterstürzen der Blöcke von dem Eiswalle, verliert sie an Schärfe, die Trümmer breiten sich regellos über die ganze Fläche aus und gelangen endlich in die Stirnmoräne.



Gletscher-Gufferlinien. Vgl. Text, S. 507.

Außer diesen sehr deutlich sichtbaren Schuttmassen bringt aber der Gletscher auch an seiner Unterseite Material mit, die sogenannte **Grundmoräne**, die von den Oberflächenmoränen außerordentlich abweicht. Lange Zeit war ihre Existenz ganz übersehen worden, erst **Agassiz** machte auf dieselbe aufmerksam, und **Martins** gab ihr den jetzt gebräuchlichen Namen. In den neuern Glazialtheorien spielt diese Grundmoräne unter allen Bestandteilen des Gletschers weitaus die wichtigste Rolle, und so mag hier eine kurze Schilderung des Auftretens an den jetzigen Gletschern von **Charles Martins** folgen: „Dringt man zwischen dem Boden und der Unterseite eines Gletschers vor, die zahlreichen Höhlungen benutzend, welche sich am Ende des Gletschers öffnen, so trifft man auf ein Lager von Geschieben und feinem, mit Wasser getränktem Sande. Entfernt man dieses Lager, so erkennt man, daß das unterliegende Gestein durch die Reibung geglättet, poliert, abgenutzt und mit gradlinigen Kritzen bedeckt ist, welche mit einem Grabstichel oder einer feinen Nadel eingraviert sein könnten. Der Mechanismus, durch welchen diese Kritzen eingegraben sind, ist derselbe, den die Industrie verwendet, um Steine oder Metalle zu polieren. Mit Hilfe eines Schleifpulvers reibt

man die metallische Fläche und gibt derselben Politur und Glanz, welche von dem Lichtreflex einer ungeheuern Menge feinster Kritzen hervorgebracht werden. Das Lager von Geschieben und Schlamm zwischen Gletscher und Untergrund ist das Schleifpulver, das Gestein die metallische Fläche, die Masse des Gletschers, welche das Schlammlager fortwährend drückt und bewegt, indem sie sich abwärts bewegt, ist die Hand des Polierers. Daher sind die in Rede stehenden Kritzen in dem Sinne der Gletscherbewegung gerichtet, aber da diese letztere kleinern seitlichen Abweichungen unterworfen ist, kreuzen sich die Schrammen bisweilen und bilden untereinander spitze Winkel.

„Die Seitenwände des Gletschers stehen nicht in unmittelbarer Berührung mit den Thalwänden, es ist fast immer ein kleiner Raum zwischen beiden vorhanden. Zahlreiche Trümmer geraten zwischen die Eismauer und das Gestein, einige bleiben in diesem Zwischenraume eingeklemmt, andre gewinnen die Unterfläche des Gletschers und bilden die Grundmoräne. Zu diesen Blöcken gesellt sich ein Teil derjenigen, welche in die zahlreichen Spalten und Schächte des Gletschers fallen. Alle diese Trümmer, zwischen Fels und Gletscher eingeengt, werden von dieser unaufhörlich wirkenden Presse gedrückt, gestoßen und zerrieben. Sie bewahren nicht die Dimensionen, welche sie besaßen, als sie sich vom Felsen loslösten. Die meisten werden zu einem undurchlässigen Schlamme zerkleinert, welcher, mit dem dem Gletscher entströmenden Wasser gemischt, das Schlammlager bildet, auf welchem dieser aufruht. Die andern bewahren die unauslöschlichen Spuren des Druckes, dem sie ausgesetzt gewesen sind. Alle ihre Ecken werden abgestoßen, ihre Kanten verwischen sich, sie nehmen die Form gerundeter Geschiebe an oder zeigen ungleiche Flächen, welche von der andauernden Reibung herrühren. Ist das Gestein weich, wie Kalkstein, so wird das Geschiebe nicht nur abgerundet, sondern erhält auch eine Menge sich in allen Richtungen kreuzender Kritzen (s. obenstehende Abbildung). Diese gekritzten Geschiebe sind von großer Bedeutung für das Studium der Ausdehnung der alten Gletscher, es sind die abgenutzten Münzen, deren Gegenwart in fast unzweifelhafter Weise die frühere Existenz eines verschwundenen Gletschers anzeigt, denn nur ein Gletscher kann in dieser Weise Geschiebe bearbeiten, abnutzen und kritzen[1]."



Gekritztes Geschiebe von der Grundmoräne eines Gletschers.

Natürlich ändert sich die Beschaffenheit der Moränen, namentlich des Firnstoßes und ihr Verhältnis zum Gletscher, sehr wesentlich, je nachdem sich dieser letztere im Anwachsen oder im Rückgange befindet oder eben in einer Periode des Gleichgewichtes begriffen ist. Bei mächtig vorrückenden großen Gletschern sind Seiten- und Stirnmoränen außerordentlich entwickelt. Die erstern erreichen in einzelnen sehr günstigen Fällen eine Höhe von 60, die Stirnmoräne, in der sich aller Gletscherschutt vereinigt, sogar von 100 m; die Seitenmoränen schließen sich dicht an den Rand an, die Stirnmoräne bildet, unmittelbar das

[1] Diese letztere Angabe ist unrichtig; auch die sogenannten Murbrüche liefern gekritzte Geschiebe, und nach Trautschold geschieht dasselbe, wenn in einem Flusse mit Geröllen versehenes Grundeis treibt.

Gletscherende umfassend, einen weiten, nach vorn konvexen Bogen, in der Mitte mit einem Durchbruche für den Gletscherbach, während sie rechts und links allmählich in den Seitenmoränen verläuft. Tritt Stillstand ein, so wird der fortwährend sich mehrende Schutt sich zur alten Moräne hinzuhäufen und diese immer mehr vergrößern. Wenn aber der Gletscher zurückgeht und sich sowohl verkürzt, als an Dicke verliert, dann läßt er die alten großen Moränen liegen, und da die Schuttzufuhr eines Jahres zur Bildung ausgiebiger Wälle nicht hinreicht, so wird das Terrain, von dem der Gletscher zurückgegangen ist, nur mit Schutt bestreut. So kommt es, daß z. B. jetzt nach etwa dreißigjährigem Rückgange vielleicht kein einziger Gletscher in den Alpen unmittelbar an seinem Ende eine große Stirnmoräne hat; dagegen sieht man thalabwärts die gewaltige Stirnmoräne, welche vorhanden war, als das Eis vorzuschreiten aufhörte. Sie gibt in den meisten Fällen sehr einfach an, um wieviel der Gletscher in der letzten Rückzugsbewegung an Terrain verloren hat. Ebenso bleibt in einer Periode des Schwindens der Gletscher die Seitenmoräne an den Gehängen liegen, hoch über dieser zusammenschmelzenden Eisfläche, und gibt den Verlust an Eisdicke ebenso genau an wie die Endmoräne den an Länge.

Beginnt dagegen der Gletscher nach einer längern Rückzugsperiode wieder vorzudringen, so sammelt er sehr bald eine ansehnliche Stirnmoräne, denn im Vorrücken schiebt er all den zerstreuten Schutt vor sich her, den er beim Zurückgehen hat liegen lassen, und drängt oft selbst ältere Stirnmoränen, die er erreicht, nach vorwärts. Durch die Berücksichtigung dieser Verhältnisse kann man sofort aus der Betrachtung eines Gletschers und seiner Schuttmassen wichtige Schlüsse über seine Geschichte und seinen Zustand erhalten; die äußerste Stirnmoräne wird uns die größte Länge bezeichnen, die der Gletscher überhaupt erreicht hat, die innerste die Grenze seines jüngsten Wachstumes. Berührt das Eis den innersten Wall, so ist der Gletscher stationär oder im Vorrücken begriffen; ist die Stirn dagegen ohne deutliche Moräne, sondern breitet sich zwischen der innersten Stirnmoräne und dem Beginne des Eises ein locker mit Schutt bestreutes Terrain aus, so hat man es mit einem im Rückgange begriffenen Gletscher zu thun.

Die weiten Flächen, welche in den letzten Jahrzehnten eisfrei geworden sind, geben uns Gelegenheit, die Einwirkung des Gletschers auf seinen Untergrund, seine erodierende Thätigkeit, zu beobachten; wie schon erwähnt, zeigt sich der Boden geglättet und mit Kritzen versehen, welche im allgemeinen mit der Achse des Gletschers parallel laufen. Aber häufig genug findet man auch, daß dieselben sich kreuzen und schneiden. Dies ist eine Folge der häufig vorkommenden Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Eises; man darf nicht, wie es wohl geschehen ist, aus dem Vorhandensein sich kreuzender Schrammen auf einem alten Gletscherboden sofort schließen, daß nacheinander zwei verschiedene, aus verschiedenen Richtungen kommende Gletscher diese Stelle passiert haben. Wo die gekritzte Oberfläche der Felsen bloßliegt und allen Einflüssen der Atmosphäre ausgesetzt ist, verliert sie ihre charakteristischen Schrammen nach einiger Zeit; dagegen bewahrt sie dieselben, wenn sich eine Lage von jüngern Bildungen, am häufigsten von Gletscherschlamm, schützend über dieselbe legt. Unter diesen Verhältnissen bleiben die zarten Furchen Jahrtausende hindurch unverletzt. Wenn man also die Vergletscherung einer Gegend während der Eiszeit auf diesem Wege nachweisen will, so ist es stets notwendig, frisch abgeräumte oder aufgedeckte Felsoberflächen aufzusuchen, von welchen der oberflächliche Schutt erst ganz kürzlich, z. B. zum Zwecke von Steinbrucharbeiten, weggeräumt worden ist.

Außer der Politur und der Schrammung ist aber noch eine andre Eigentümlichkeit der von Gletschern bearbeiteten Oberflächen zu nennen, nämlich das Auftreten einer eigentümlichen **Reliefform**, die bald in größerm, bald in kleinerm Maßstabe ausgebildet ist. Bald ist nur ein beschränktes Gletscherbett mit einer Menge sanft gerundeter Erhabenheiten

bedeckt, zwischen denen muldenförmige Vertiefungen liegen, bald sind die gesamten Berge rings um ein Thal bis zu einer gewissen Höhe in dieser Weise modelliert. Es sind das die vielgenannten Rundhöcker, die roches moutonnées der Franzosen, deren Bezeichnung vielfach auch im Deutschen Anwendung gefunden hat. Diese Gestaltung ist so bezeichnend, daß man in manchen Alpenthälern, z. B. im Unterinnthale und in der Gegend von Meran in Tirol oder im Engadin, welche während der Eiszeit von riesigen Gletschern erfüllt waren, aus den Bergformen mit ziemlicher Genauigkeit angeben kann, bis zu welcher Höhe die Eismassen sich erhoben haben. Die untenstehende Abbildung zeigt die Umgebung von



Rundhöckerlandschaft der Umgebung von St. Moritz im Engadin.

St. Moritz im Engadin; an den Bergen tritt der Kontrast zwischen der tiefern rundhöckerigen Partie und den steil abstürzenden Gipfelregionen aufs deutlichste hervor.

Wenn nun die Gletscher in dieser Weise nicht nur ihre Unterlage polieren und schrammen können, sondern dieselbe auch in charakteristischer Weise zu modellieren vermögen, so muß denselben eine namhafte erodierende Kraft zukommen; das weiche Eis selbst kann natürlich auf festes Felsgestein nicht einwirken, es bedarf dazu, wie das fließende Wasser, der Vermittelung harter Körper, welche es mit sich führt. Dies sind die Steine und Felsblöcke, welche von der Oberseite des Gletschers entweder durch die Bergkluft oder durch eigentliche Gletscherspalten auf den Boden gelangen und hier vom Eise forttransportiert werden. Unter dem gewaltigen Drucke des auflastenden Eises wirken sie mächtig auf ihre Unterlage und werden selbst dabei heftig angegriffen, alle einigermaßen weichern Gesteine, Kalke, Schiefer, werden größtenteils zu feinem Schlamme zerrieben, nur von den festesten Graniten, Protoginen und ähnlichen widerstandskräftigen Felsarten kommt ein bedeutender Teil zwar

abgerundet und arg zerschunden, aber doch noch in kompakten Stücken in der Grundmoräne wieder zum Vorscheine. Immerhin ist jetzt die Menge des feinen Zerreibsels, welche die Grundmoräne liefert, bei allen Gletschern der Alpen eine sehr geringe, die Lage zarten Schlammes auf dem Gletscherboden eine sehr dünne.

Es ist auch die Frage aufgeworfen worden, ob die Eisströme außer der Abwetzung durch die Steine der Grundmoräne ihre Felsunterlage noch in andrer und ausgiebigerer Weise angreifen. Es ist bekannt, daß die Gletscherenden beim Vorrücken den losen Gesteinsschutt vor sich herschieben, selbst riesige Blöcke vorwärts wälzen, den Rasen aufschürfen. Allerdings ist das nicht immer der Fall, und es sind Beispiele bekannt, daß ein Gletscher seine Stirn über einen Grasteppich vorschob und dieser nach einigen Jahren beim Rückgange des Eises unversehrt wieder zum Vorscheine kam. Jedenfalls hat aber jenes Verhalten nichts mit der Wirkung auf festes, anstehendes Gestein zu thun; daß dieses förmlich aufgebrochen werde, ist wohl noch in keinem Falle sicher bewiesen, und die ganz vereinzelten Angaben dieser Art bedürfen noch der Bestätigung.

Keinesfalls kann die erodierende Wirkung der jetzigen Gletscher in den Alpen als eine sehr bedeutende bezeichnet werden. Ich war sehr erstaunt über die verhältnismäßig geringfügigen Wirkungen, welche man an den durch den Rückzug in den letzten Dezennien entblößten Strecken in unsern Alpen wahrnimmt, und niemand, der z. B. aus dem Gschlößthale über den verlassenen Gletscherboden zum jetzigen Ende der Schlattenkees am Venediger emporsteigt, wird sich diesem Eindrucke entziehen können. Eine andre Frage dagegen ist es, wie es sich in den Gegenden der ungeheuern polaren Inlandeismassen verhält, und wie es in der Eiszeit mit den gewaltigen Eisströmen der Alpen und Nordeuropas war, deren Bedeutung für die Terrainbildung von verschiedener Seite in der allerverschiedensten Weise gedeutet wird.

In den Thälern der Alpen finden sich vielfach bis an den Rand des Gebirges und bis weit hinaus in die vorliegende Ebene Spuren der diluvialen Vergletscherung. An Berghängen, in Thälern und Wassergebieten, welche mit den kristallinischen Teilen der Alpen in keiner Verbindung stehen, treten massenhaft Trümmer von kristallinischen Gesteinen auf, die unmöglich durch Wasser an ihren Platz gekommen sein können; riesige Blöcke finden sich nicht nur in weiten Thälern fern von ihrem Ursprungsorte, sondern auch in der Ebene, sogar in der Schweiz auf namhaften Höhen des den Alpen gegenüberliegenden Juragebirges kommen die „erratischen“ Blöcke von Alpengesteinen vor. Alle Versuche, den Transport derselben durch furchtbare Überschwemmungen oder durch Eisberge eines ehemaligen Binnensees zu erklären, sind vollständig gescheitert; sie können nur durch Gletscher dorthin gelangt sein. Auch das Moränenmaterial findet sich vor, bis zu 100 m Mächtigkeit anschwellende ungeschichtete Massen bald lehmiger, bald sandig-grusiger Beschaffenheit, in welchen größere und kleinere Blöcke eingebettet sind; letztere sind mehr oder weniger gerundet, poliert und mit den charakteristischen Gletscherkritzen versehen. Dieses Moränenmaterial, das mit dem „Blocklehme“ Norddeutschlands, dem „Till“ Schottlands und dem „Krosstenslera“ Skandinaviens übereinstimmt, breitet sich in den Alpenthälern und weithin über die Ebene aus. Räumt man den Schutt weg, so findet man die darunterliegende Fläche harter Gesteine, z. B. der Nagelfluh der bayrischen Hochebene, geglättet und gekritzt. Die Massen dieser Ablagerung sind so groß, daß sie, wie zuerst Desor gezeigt hat, den landschaftlichen Charakter eines breiten Gürtels des Vorlandes rings um einen großen Teil der Alpen wesentlich bestimmen. Die großen Endmoränen bilden viele bogige Höhenzüge, und hinter dem äußersten Gürtel derselben „beginnt ein auffallend koupiertes, anmutiges und wechselvolles Hügelland; die mittlere Höhe ist unbedeutend, die Hügelzüge differieren nur wenig in der Höhe voneinander, aber sie verlaufen durchaus regellos, häufig in langgezogenen Rücken, manchmal bogenförmig, oder sie sind in einzelne kegelförmige Hügel aufgelöst. In den größern

Einsenkungen liegen bedeutende Seen, die kleinern Kessel werden von fischreichen Seen und Weihern ausgefüllt, welche in der Moränenlandschaft außerordentlich häufig sind. Da, wo den Einsenkungen eine offene Wasserfläche fehlt, wird ihre Stelle meist von einem nassen Torfmoore oder von sumpfigen Wiesen ausgefüllt. In der Richtung der thalähnlichen Depressionen herrscht ebensowenig ein Gesetz wie in der Anordnung der Hügelzüge, in einigen fließen Bäche, andre bieten das eigentümliche Schauspiel von Trockenthälern dar." (Zittel.)

Diese Gestaltung der Moränenlandschaft, die auch auf jeder topographischen Karte deutlich hervortritt, kann nicht einer Anordnung und Modellierung durch fließendes Wasser ihre Entstehung verdanken, sondern es ist die ursprüngliche unregelmäßige Lagerung von Moränenmaterial, welches gewöhnlich der Grundmoräne des riesigen Gletschers der Diluvialzeit zugeschrieben wird.

Entstehung der Seen.

Es ist nicht unsre Aufgabe, näher auf Ausdehnung und Charakter der alten Moränen einzugehen; wir werden später, bei Besprechung der Eiszeit, auf dieselben zurückkommen. Hier beschäftigt uns nur die streitige Frage, welche erodierende Wirkung einem derartigen Riesengletscher zugeschrieben werden soll. Wir wenden uns gleich dem schwierigsten Punkte zu, der damit im Zusammenhange steht, einer Frage von größter Bedeutung für die Oberflächengestaltung der Erde, nämlich der Entstehung der Seen, welche noch immer schwer zu erklären ist. Die Existenz von Becken, deren Sohle tiefer liegt als die Ränder, und die infolgedessen bei günstigen klimatischen Verhältnissen von Wasseransammlungen erfüllt sind, kann natürlich durch die verschiedenartigsten Ursachen herbeigeführt werden; in einigen Fällen können wir uns sehr leicht von ihrer Entstehung Rechenschaft geben, in andern dagegen stoßen wir auf große Schwierigkeiten.

Verhältnismäßig klar liegt die Sache bei den großen Binnenbecken, welche im Zentrum großer, rings von höhern Regionen umgebener Niederungen liegen. Hier haben wir es nicht mit der Wirkung erodierender und denudierender Kräfte zu thun, sondern mit den großen tektonischen Zügen des Gesamtbaues der betreffenden Gegenden. Für den Aral- und Kaspisee, für den Lop-Nor und Kuku-Nor in der mongolischen Wüste, den Baikalsee, für den Tsadsee und die großen Wasserbecken Zentralafrikas, endlich für die großen nordamerikanischen Seen ist eine solche Erklärung die einzig mögliche. Ob dieselben einstmals Meeresbuchten waren, die durch irgend welche Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land vom Ozeane abgetrennt worden sind, oder ob sie stets Binnenbecken waren, muß für jeden Fall einzeln entschieden werden. Für die Beurteilung dieser Frage ist es von Wichtigkeit, die in diesen Seen lebenden Tiere zu untersuchen und zu erforschen, ob sich unter denselben Geschöpfe finden, welche für gewöhnlich dem süßen Wasser fremd sind und sich im Meere aufhalten. Wenn wir z. B. im Kaspisee Seehunde, Meeresfische und einzelne Meeresmuscheln, wie Cardium edule, Venus gallina 2c., finden, wenn der Baikalsee ebenfalls Seehunde und eine überaus reiche Krebsfauna mit verschiedenen marinen Typen beherbergt, so werden wir mit Recht aus diesen „Relikten"[1] schließen dürfen, daß diese Becken einst mit dem Meere im Zusammenhange waren, und daß jene Formen Überbleibsel der ursprünglichen marinen Fauna sind, die sich in diesen „Reliktenseen" bis auf den heutigen Tag erhalten.

Derartige marine Typen kommen jedoch nicht nur in solchen großen Wasseransammlungen vor, die man schon als Binnenmeere bezeichnen kann, sondern auch in manchen weit

[1] Relikten (von relinquere, zurücklassen), Überbleibsel einer ursprünglich vorhandenen Meeresbevölkerung in Binnenseen.

kleinern Seen. Der Gardasee hat z. B. einige Fische und Krebse (Blennius, Gobius, Palaemon) von marinem Gepräge; einige solche Krebse finden sich im Wener- und Wettersee in Schweden, und ähnliche Beispiele werden aus Rußland, Nord-, Zentral- und Südamerika, Grönland, Borneo &c. angeführt. In einem Falle, wie bei dem Gardasee, bei den schwedischen Seen, wo eine beträchtlichere Zahl teilweise ziemlich großer Formen marinen Typus tragen, ist kaum eine andre Deutung möglich als die, daß man es mit Relikten des Meeres zu thun habe. Wenn aber z. B. im Genfer See nur ein winziger Muschelkrebs aus einer Gattung vorkommt, die sonst im Meere lebt, so wird es jedenfalls viel näher liegen, an eine Verschleppung der Eier oder auch von entwickelten Individuen an den Füßen oder dem Federkleide eines Wasservogels zu denken, als den Genfer See als einen Reliktensee zu bezeichnen.

Wir werden auf die Bedeutung solcher Reliktenfaunen für die Frage der Seebildung später nochmals zurückkommen und wenden uns nun der Betrachtung andrer Binnengewässer zu, deren Entstehung sehr leicht zu erklären ist. Von solchen sind zunächst die seichten, meist schwach gesalzenen Wasseransammlungen an der Küste zu nennen, welche lediglich durch Dünenbildung oder mittels Anschwemmung von Material durch eine Flußmündung vom Meere abgeschlossen sind; hieher gehören die Haffbildungen der Ostsee und andre verwandte Erscheinungen, die Seen in den Deltagebieten der Flüsse und eine Reihe ganz analoger Vorkommnisse an den verschiedensten Meeresküsten, die so klare Verhältnisse bieten, daß wir sie nicht weiter zu erörtern brauchen. Nahe verwandt sind jene tiefen, ebenfalls an der Meeresküste gelegenen Seen nördlicher Breiten, welche lediglich durch die Abdämmung eines Fjordes, einer jener merkwürdigen, langgezogenen Buchten entstanden sind, wie sie z. B. die norwegischen und schottischen Gestade auszeichnen. Nicht minder einfach stellt sich die Entstehung gewisser reihenförmig angeordneter Steppenseen dar: sie verdanken ihren Ursprung der Verwehung eines stagnierenden Flußlaufes durch Flugsand.

Andre sehr leicht verständliche Ursachen für die Ausbildung von Seen bildet die Abdämmung von Thälern durch Bergstürze oder durch die Anschwemmungen eines in dasselbe einmündenden oder an dessen Mündung vorüberfließenden Wasserlaufes. Der erste der genannten Fälle scheint in hochgebirgigen Regionen durchaus nicht selten zu sein; es sei nur eins der vielen Beispiele erwähnt, da es sich bei demselben um ein in ganz neuer Zeit eingetretenes, genau konstatiertes Ereignis handelt, dessen Schauplatz ich selbst wiederholt besucht habe. Im östlichen Siebenbürgen, in einem der wildesten Teile des Grenzgebirges gegen die Moldau, im Nagy Hagymas bei Giörgy St. Miklos, liegt, von urwaldbedeckten Hügeln und einzelnen gewaltig ansteigenden Felsbergen umrahmt, in einem düstern Kesselthale ein kleiner See, der Vöröstó. Der erste Anblick dieses seltsamen dunkelgrünen Wassers zeigt sogleich, daß sich hier ein außergewöhnliches Ereignis abgespielt hat, denn aus dem Wasserspiegel ragen oder ragten wenigstens noch im Jahre 1872, gigantischem Schilfe vergleichbar, die grauen, abgestorbenen Stämme gewaltiger Fichten empor. Der See breitet sich also an einer Stelle aus, die vor einer kurzen Zeitspanne noch Waldgrund gewesen sein muß. In der That ist derselbe durch einen mächtigen Bergsturz entstanden, der vor etwa 40 Jahren den obern Teil des Thales absperrte und das Wasser aufstaute. Der ganze Vorgang erklärt sich in der einfachsten Weise. Auf der östlichen Thalseite ist ein gewaltiger Felsberg, der Gyilkoskö, aus mächtigen Kalkmassen des obern Jura aufgebaut, deren Schichten gegen das Thal geneigt sind; die Unterlage dieser Kalke bildet ein sehr leicht zerstörbarer Thon des mittlern Jura, der vom Regenwasser zu einer breiigen Masse aufgelockert wird und sich, wo er bloßliegt, wie ein Schlammgletscher an den Gehängen hinabwälzt. Die unter den Kalken liegenden Teile dieses Thones waren auf eine Strecke weit von einsickerndem Wasser gelockert, so daß jene abrutschten und den Bergsturz bildeten, der das Thal abdämmte und den See aufstaute.

Auch die Abdämmung eines Thales durch den Schutt eines Seitenthales ist sehr leicht verständlich. Denken wir uns in einem Hauptthale einen verhältnismäßig langsam strömenden Fluß mit geringem Gefälle und Transportvermögen und in dieses Thal von der Seite einen wild reißenden Bergstrom einmündend, der aus seinem steil geneigten Gebiete ungeheure Schuttmengen mit sich führt, so wird dieser mit dem Eintritte in das flachere Hauptthal an Kraft und Schnelligkeit sehr bedeutend verlieren und infolgedessen seine Schuttmassen ablagern. Auch der langsam treibende Hauptfluß wird diese Schuttmengen nicht entfernen können, so daß sie unter günstigen Verhältnissen das Hauptthal absperren werden und in demselben einen See erzeugen können.

In analoger Weise kann auch der Hauptfluß durch seine Sedimentmassen den Abfluß aus einem Seitenthale aufhalten und aufstauen; ein Beispiel aus dem westlichen Griechenland mag diesen Fall erläutern. Im südlichen Ätolien, nahe an der Grenze von Akarnanien, befinden sich in einem weiten, von Osten nach Westen verlaufenden Thale die zwei großen Seen von Agrinion (Vrachori) und Angelokastro. Nach Norden, Osten und Süden sind sie von hohen Gebirgen umgeben, gegen Westen aber stoßen sie an ein ganz flaches Gebiet, welches nur von den Anschwemmungen des Acheloos oder Aspropotamos gebildet wird. Dieses merkwürdige Verhalten erklärt sich sehr einfach, wenn man den Lauf dieses bedeutendsten Flusses in Griechenland studiert. Derselbe entspringt im Norden im epirotischen Pindusgebirge und nimmt als wilder Bergstrom in einem tief eingeschnittenen Längsthale seinen Lauf gegen Süden; in Ätolien erhält er den Zufluß einiger andrer bedeutender Bergbäche, und diese reißende Wassermasse nimmt nun fortwährend durch enge Schluchten ihren weitern Weg, große Geröllmengen mit sich fortwälzend. Bei den Ruinen der alten Stadt Stratus bricht der Fluß aus dem Gebirge hervor und ergießt sich in eine weite, uneingeschränkte Ebene; die Gewässer, bis dahin zwischen engen Thalwänden eingeengt, breiten sich aus, eine kurze Strecke genügt, um den wild brausenden Bergstrom in ein träge schleichendes Gewässer zu verwandeln, und bei diesem raschen Übergange werden ungeheure Mengen von Geröllen abgelagert, durch welche sich das Bett fortwährend erhöht. Dies geschieht gerade vor dem Ausgange des Seebeckens von Agrinion und Angelokastro, und es ist sehr wahrscheinlich, daß dieses ein einfaches Flußthal war und nur durch das Anwachsen der Acheloosanschwemmungen abgedämmt und mit Seen ausgefüllt wurde.

In ähnlicher Weise wie durch Flüsse können auch durch fließendes Eis, durch Gletscher und ihre Moränen, Thäler abgesperrt und in Seen umgewandelt werden; die bekannten Eisseen der Alpen bieten dafür die besten Beispiele. Unter den Gletschern im Hintergrunde des Ötzthales ist der Vernagtgletscher durch die Lebhaftigkeit seines energischen Vorrückens und Zurückgehens ausgezeichnet. Heute ist er so sehr eingeschrumpft, daß sein Ende drei Viertelstunden Wegs von der Einmündung des Vernagtthales in das Rofenthal entfernt ist und nur Schuttmassen und Schliffe seine ehemalige Ausdehnung verraten. In Zeiten starker Entwickelung erfüllte er das ganze Thal bis an sein unteres Ende und trat noch in das Rofenthal hinaus, welches dadurch vollständig abgesperrt wurde; hinter dem Eisdamme bildete der Rofenbach einen See, der aber im Jahre 1601 und später mehrmals die Barriere durchbrach und seine Wassermassen, das ganze Ötzthal verwüstend, nach abwärts ergoß. Im obern Rofenhofe wird ein etwa 6 Fuß langer Bohrer gezeigt, der von Wien aus im Jahre 1772 geschickt worden war, um den Gletscher damit zu durchbohren und den gefahrdrohenden See abzuzapfen.

Auch die Entstehung des Achensees in Nordtirol, der auf den ersten Blick so seltsame Verhältnisse zu bieten scheint, ist lediglich einer Abdämmung eines ehemals in das Innthal mündenden Thales durch die Ablagerungen des Inngletschers und ihrer Umschwemmungsprodukte während der Glazialzeit zuzuschreiben. **Penk** erklärt die Entstehung dieses

Sees folgendermaßen: Der Achensee ist nur 4 km vom Inn bei Jenbach entfernt, er liegt 400 m über dem Spiegel des Flusses, hat aber keinen oder wenigstens keinen oberirdischen Abfluß dorthin, sondern ergießt sein Wasser nach Norden in die Isar. Man sollte nun denken, daß ein mächtiger Bergwall trennend zwischen dem See und dem Inn liegen müsse; aber dem ist nicht so, die Schwelle zwischen beiden erhebt sich nur 5 m über den Seespiegel und besteht ganz aus jungen, losen Geröllen und Thonen, ja ein unterirdischer Abfluß des Sees findet in der That durch diese Schuttmassen hindurch nach dem Innthale statt. Denkt man sich aus dem vom Inn zum Achensee hinaufführenden Thaleinschnitte all diese jungen Bildungen hinweggenommen, so findet man, daß der See, nur der obere breitere Teil, eine in den Inn hinabziehende Thalrinne darstellt. Gegen Ende der Glazialzeit aber häufte sich das umgeschwemmte Moränenmaterial des Inngletschers hier in solchen Massen an, daß der aus dem Achenthale mündende Bach diesen Damm nicht zu durchbrechen vermochte, zu einem See aufgestaut und endlich gezwungen wurde, seinen Abfluß nordwärts nach der Isar zu nehmen.

Als eine weitere Art von Seen, deren Ursprung sehr einfach zu erklären ist, mögen die Kraterseen erwähnt werden; die kreisförmigen Einsenkungen der erloschenen Vulkane werden sehr oft von Wasser erfüllt, und die Zahl der Seen, welche so entstanden sind, ist eine überaus große. Die Explosionskrater (Maare) der Eifel vom Laacher See bis zu kleinen Ringbecken herab sind heute zum großen Teile Wasserreservoirs. Viele der schönen Seen Italiens, in Toscana, im Albanergebirge und in der Umgebung von Neapel, gehören hierher.

Ferner werden tektonische Senkungen, die Bildung von Kesselbrüchen oder von Grabenversenkungen im Binnenlande, Veranlassung von Seenbildung geben, indem das Wasser von allen Seiten der sich bildenden Vertiefung zuläuft und dieselbe ganz oder teilweise ausfüllt, wie das beim Toten Meere und vielleicht auch beim Tanganikasee in Südafrika der Fall ist.

Wenn wir nun an die Aufgabe gehen, auch für diejenigen Binnenwasserbecken eine Deutung zu geben, welche sich auf keinen der bisher besprochenen Fälle zurückführen lassen, so stoßen wir auf sehr große Schwierigkeiten.

Vor allen andern bilden die Seen der Alpen und ihres Vorlandes das vielumstrittene Gebiet, auf welchem die entgegengesetzten Ansichten sich schroff gegenüberstehen. Wenn wir uns auch für keine derselben entscheiden können, so ist es doch nötig, sie kennen zu lernen und zu erfahren, welche Gründe für jede derselben angeführt werden. In vielen Fällen ist eine Deutung nicht schwer: die Menge kleiner Seen im Vorlande der Alpen liegen in dem Gebiete, welches während der Eiszeit von Gletschern bedeckt worden ist, und auf welchem bei deren Rückzuge das Moränenmaterial sehr ungleichmäßig verteilt zurückblieb; zwischen diesen unregelmäßigen Anhäufungen blieben oft kleine Becken, welche sich mit Wasser füllten. Auch die große Mehrzahl der im Innern des Gebirges gelegenen Seen sind verhältnismäßig leicht zu erklären; einige derselben können auf Einstürze im Kalkgebiete, andre auf Abdämmung eines Thales durch zurückgebliebene Moränen oder durch Anschwemmung zurückgeführt werden. Bei manchen kleinen hochalpinen Seen ist wieder die Entstehung ihrer überaus seichten Becken durch Gletschererosion auf den ersten Blick vollständig klar, und zwar sind das solche, welche lediglich den etwas tiefer ausgehöhlten Partien innerhalb eines stark ausgebildeten Rundhöckerterrains entsprechen, innerhalb deren sich Wasser angesammelt hat. Ein vorzügliches Beispiel dieser Art ist z. B. einer der kleinen Seen, welche unter dem Velber Tauern, nahe dem Wege von diesem nach Mittersill im Pinzgaue, liegen, und ein ganz ähnlicher Fall wird von Geikie aus den schottischen Hochlanden mitgeteilt (s. Abbildung, S. 524).

In einer der angegebenen Arten erklärt sich die Entstehung der meisten inneralpinen Seen verhältnismäßig einfach, den Stein des Anstoßes geben aber die großen Randseen

der Alpen, der Genfer, der Neuenburger und Bieler, der Brienzer, Thuner, Züricher, Wallenstätter See und andre in der Schweiz, der Bodensee, ferner in Bayern der Starnberger See, der Ammersee, Kochelsee, Schliersee, Tegernsee, Chiemsee rc., vermutlich die meisten Seen des Salzkammergutes, endlich die großen oberitalienischen Seen.

Keiner eingehenden Widerlegung bedarf wohl die Ansicht, daß man es hier mit lauter Fjorden eines ehemaligen Meeres zu thun habe, daß alle diese Seen Reliktenseen seien. Ebensowenig Anspruch auf Anerkennung darf die Annahme machen, daß die Alpenseen großen Spalten entsprechen, denn wir kennen überhaupt keine Art der Spaltenbildung, welche Becken wie die erwähnten zu erzeugen im stande wäre; bei manchen läßt sich mit voller Sicherheit zeigen, daß keine Spur einer Verwerfung an ihrer Stelle vorhanden ist. Ebenso darf die Meinung abgelehnt werden, welche in der ursprünglichen Anlage der Gebirgsbildung schon die Gestalt der Becken gegeben glaubt. Die Seen sind nur Erweiterungen der Thalsysteme, diese müssen existiert haben, ehe jene sich bilden konnten, und daß die Thalbildung in den Alpen sich in durchaus selbständiger Weise entwickelt hat, die Grenzkämme zwischen den Thälern nicht durch die ursprünglichen Faltenzüge gegeben sind, haben wir oben zur Genüge gesehen.

Daß die Seebecken einfach durch die Wirkung fließenden Wassers nicht erodiert werden können, ist klar; das Wasser wirkt nur dadurch, daß es, dem Zuge der Schwere folgend, abwärts fließt und dabei feste Teile mit sich führt, aber ein mehrere Hundert Meter tiefes Becken dieser Thätigkeit zuschreiben zu wollen, ist widersinnig, auch wenn man furchtbare, katastrophenhafte Überflutungen zu Hilfe nehmen wollte. Im Gegenteile, fließendes Wasser müßte diese Becken schon längst mit Geröllen ausgefüllt haben, wenn deren Alter nicht ein sehr jugendliches wäre; speziell müßte der bedeutende Rölltransport beim Abschmelzen der Gletscher am Ende der Eiszeit in dieser Richtung von großer Wirkung gewesen sein, wissen wir ja doch, daß eine große Zahl von Seen im Alpengebiete seit der Glazialperiode vollständig ausgefüllt worden, „erloschen" ist, während die noch jetzt mit Wasser angefüllten seither schon beträchtlich an Umfang verloren haben. Überhaupt müssen wir uns an die Anschauung gewöhnen, daß die Gebirgsseen keine dauernde Erscheinung, kein bleibendes Glied im landschaftlichen Charakter darstellen. Die große Mehrzahl derselben wird in einer, geologisch gesprochen, sehr kurzen Zeit ausgefüllt sein, und nur ebene Wiesen- oder Torfflächen werden die Stelle noch bezeichnen, welche die Seen einstmals eingenommen haben. Wenn auch einzelne, wie der Bodensee, der Genfer und vor allen der Gardasee, voraussichtlich etwas länger ausdauern werden, so kann es sich doch auch in diesen Fällen um keine großen Zeiträume handeln.

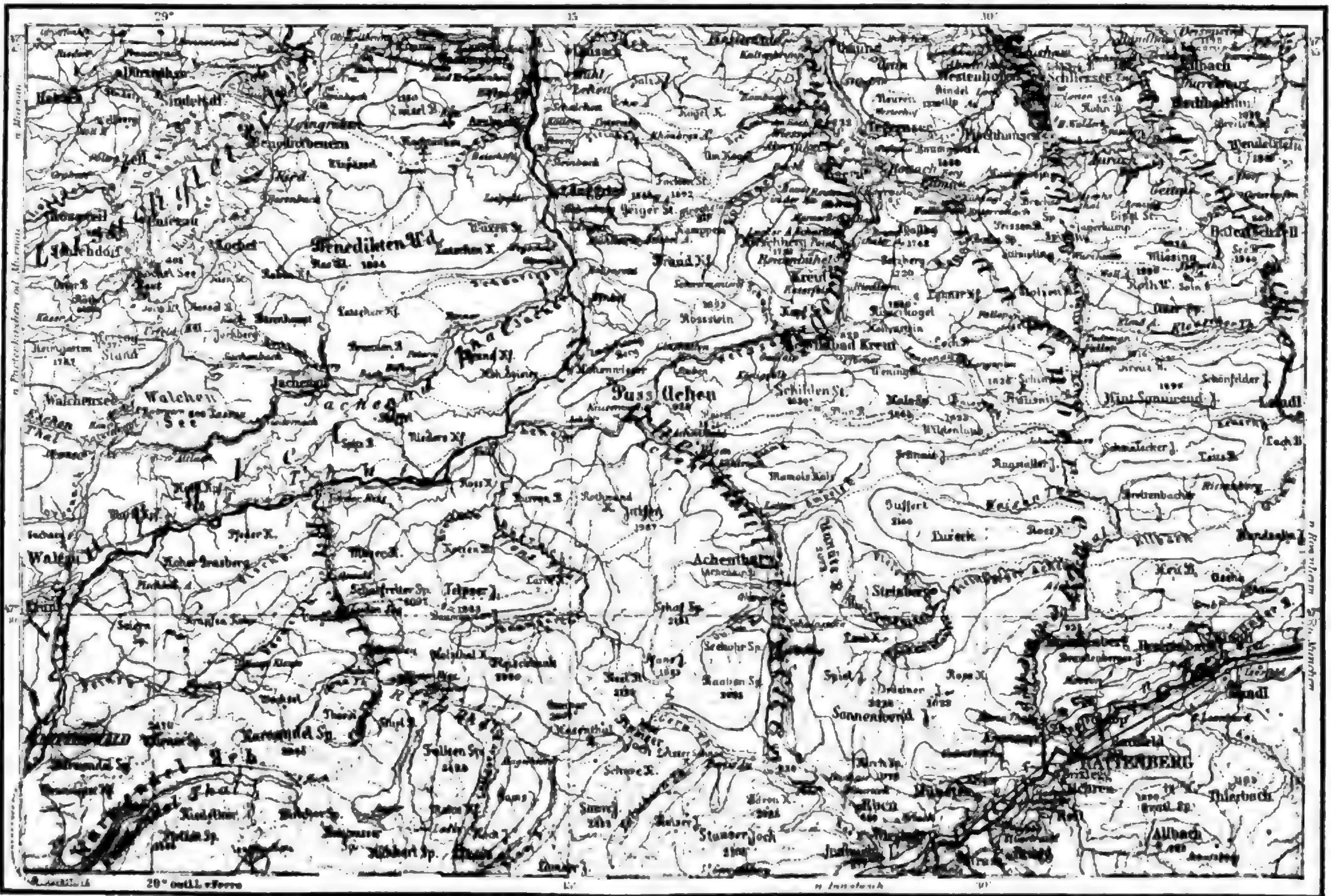
Wichtig sind die namentlich von Rütimeyer und Heim vertretenen Ansichten, welche zwar den gebirgsbildenden Kräften eine entscheidende Mitwirkung bei der Entstehung der Seen zuschreiben, als die eigentlich wirksame Kraft aber die Erosion durch fließendes Wasser betrachten. Sie nehmen an, daß die großen Thalsysteme des Alpengebietes und seines Vorlandes sich lediglich durch die Wirkung des fließenden Wassers ausgetieft haben, daß aber das Vorland der Alpen noch in Faltung und Aufrichtung begriffen war, als das Gebirge selbst nicht mehr in Bewegung war, und daß die bestehenden Thäler, in welchen die Flüsse verliefen, durch Faltenbildung abgedämmt wurden, welche zu rasch vor sich ging, als daß die Erosion mit der Aufrichtung gleichen Schritt hätte halten können. An der Möglichkeit solcher Fälle kann um so weniger gezweifelt werden, als wir einen ganz übereinstimmenden Vorgang in der Bildung der Kesselthäler oder „Polje" der Karstländer kennen gelernt haben; ob jedoch die großen alpinen Randseen auf diese Weise erklärt werden können, ist eine andre Frage, die nicht für alle Fälle bejaht werden kann, da mehrere Randseen in vollständig horizontal und ungestört liegenden Schichten eingetieft sind. Alle diese Schwierigkeiten führten zu immer neuen Hypothesen, und dabei konnte eine eigentümliche Beziehung zwischen der Seenbildung und der Verbreitung der Gletscher während der Eiszeit

nicht unbeachtet bleiben, wenn auch die Ansichten weit auseinander gingen in Beziehung auf die Rolle, welche die Vergletscherung speziell bei der Bildung der Randseen spielt.

Wenn wir die Lage der Seen in Europa betrachten, so machen wir die auffallende Beobachtung, daß sie der sehr großen Mehrzahl nach in solchem Terrain liegen, welches während der Eiszeit vergletschert war. Zahlreiche Seen gibt es in den Alpen und in ihrem Vorlande, soweit es von Glazialspuren bedeckt ist, wir finden sie in Menge in der Hohen Tatra und in den ehemals vereisten Gegenden der norddeutschen Ebene, Finnlands, Skandinaviens und Schottlands. Die Zahl dieser Seen ist eine außerordentlich große, wie ein einfacher Blick auf die Karte lehrt; aber in Wahrheit ist die Menge der Seebecken eine weit größere, als man danach annehmen sollte, denn neben den mit Wasser erfüllten Becken gibt es in allen den genannten Gebieten auch eine Menge erloschener Seen. Wir stehen hier vor einer Erscheinung, die nicht bestritten werden kann; aber welches ist der ursachliche Zusammenhang, der sich uns darin kundgibt? Ist die Vereisung die unmittelbare Ursache der Seebildung, oder hat sie diese nur mittelbar hervorgerufen oder begünstigt, oder gehen beide auf eine gemeinsame dritte Ursache zurück? Das sind die Fragen, welche heute die Geologen in hohem Grade beschäftigen, die aber von einer endlichen Lösung noch ziemlich weit entfernt sind.

Die geographische Verknüpfung von Seen und Glazialterrain führte den bekannten englischen Geologen Ramsay zu der Ansicht, daß die Seebecken oder wenigstens ein Teil derselben durch die erodierende Kraft der Gletscher ausgetieft worden seien, daß die ungeheuern Eismassen der Glazialzeit mit Hilfe der Grundmoräne, welche sie an ihrem Boden hinschoben, diese gewaltigen Vertiefungen ausgehöhlt haben. Zu demselben Ergebnisse kam Mortillet in Frankreich auf einem andern Wege: die Seen sperren die Thäler ab, in welchen sie gelegen sind, so daß keine Gerölle aus den oberhalb gelegenen Thalstrecken in die thalabwärts gelegenen Regionen gelangen können, sondern in dem See liegen bleiben. Nun beobachtet man aber, daß in vielen Fällen Geröllablagerungen von ganz gleichem Charakter, welche sehr wenig älter sind als die Glazialgebilde, sowohl oberhalb als unterhalb der Seen vorkommen, und Mortillet schloß daraus, daß die Seebecken sich erst während der Eiszeit und zwar durch die ausnagende Kraft der Gletscher gebildet haben. Von der Mehrzahl derjenigen, welche sich mit derartigen Studien beschäftigen, wurden diese Ansichten in entschiedener Weise verworfen, andre dagegen schlossen sich mit voller Zustimmung an; ja, es fehlte nicht an Nachfolgern, welche diese Hypothese bis ins äußerste Extrem trieben und nicht nur die Seebecken, sondern das ganze Thalsystem der Alpen als durch Gletscher ausgetieft betrachteten. Diese Übertreibungen bedürfen keiner ernsten Widerlegung mehr; heute handelt es sich zunächst um die Frage der Entstehung der großen Randseen in den Alpen. Man kann annehmen, daß sich dieselben gegen Ende der Tertiärzeit gleichzeitig mit einer Faltung des Landes gebildet haben. Es bleiben dann die schwierigen Fragen bestehen: warum hat nicht schon längst eine Ausfüllung stattgefunden, und wie sind die präglazialen Gerölle in die thalabwärts gelegene Region gelangt? Die erste Frage läßt sich in verhältnismäßig einfacher Weise beantworten: das Becken war jedenfalls zur Eiszeit mit Gletschermassen erfüllt, und diese bewahrten dasselbe vor der Zuschüttung. Schwieriger wird die Frage nach der Verbreitung jener Gerölle, die älter sind als die Moränenbildungen; aber auch darin ist kein wirkliches Hindernis gegeben, sobald man jene „präglazialen“ Gerölle nicht als vor der Eiszeit überhaupt, sondern nur vor deren letzter Phase abgelagert annimmt, wofür gewichtige Gründe sprechen. Es ist wahrscheinlich, daß während der Eiszeit bedeutende Schwankungen in der Verbreitung der Gletscher stattgefunden haben, und daß während einer ersten Phase schon Gesteinsmaterial über die Seen transportiert wurde. Hierauf fand ein Rückzug der Gletscher statt, das Moränenmaterial wurde umgelagert und bildete

VERGLETSCHERUNG DES TEGERNSEE-GEBIETES WÄHREND DER EISZEIT.



jene Geröllschichten; und dann folgte eine neue, die letzte Vergletscherung, welche über den Geröllen wieder Moränen verbreitete.

Man kann also den Gegensatz der Auffassungen dahin präzisieren, daß die eine derselben dem Eise die Erhaltung, die andre die Bildung und Aushöhlung der Seebecken zuschreibt, daß jene deren Entstehung vor, diese in die Eiszeit versetzt. Für jede der Ansichten lassen sich Gründe anführen, aber jeder derselben stehen große Schwierigkeiten entgegen. So sind namentlich die Verhältnisse der präglazialen oder interglazialen Geröllablagerungen nur schwer mit einem tertiären Ursprunge der Seen zu vereinigen, indem es in vielen Fällen den Anschein hat, als hätten dieselben eine zusammenhängende Decke gebildet, in welche die Seen eingesenkt sind. Wir können hier nicht zahlreiche einzelne Fälle besprechen, nur ein Beispiel sei angeführt, welches besonders klare Verhältnisse zu bieten scheint. Es ist das der Starnberger See südlich von München, dessen Umgebung wir in dem Werke von Penk über die Vergletscherung der Bayrischen Alpen geschildert finden. Der Starnberger See liegt ganz außerhalb des Gebirges in der oberbayrischen Hochebene; unter den Moränen des alten Isargletschers, in dessen Bereich der See fällt, findet sich eine Decke zu festem Konglomerate erhärteter interglazialer Gerölle, der in der Hochebene so verbreiteten sogenannten Nagelfluh. Unter der Nagelfluh liegt am Starnberger See jüngeres Tertiär in ungestörter Lagerung, und die Bänke der Nagelfluh fallen sehr sanft und allmählich gegen Norden. Der See ist eine in diese Gebilde eingesenkte Vertiefung; der Seeriegel, die Terrainschwelle, welche das Becken nach Norden abschließt, und durch welche der Abfluß, die Würm, ihr Bett genagt hat, besteht aus Tertiär. Die Nagelfluh bildet nicht nur am Nordende eine zusammenhängende Ablagerung, sondern sie tritt auch am Ost- und Westufer auf und bricht gegen den See ab, so daß man mit Bestimmtheit folgern kann, daß sie einst über den See oder wenigstens über dessen Nordhälfte weg eine zusammenhängende Decke bildete. Unter diesen Verhältnissen kann man behaupten, daß eine Faltenbildung und Terrainstauung hier nicht mitgewirkt hat, und daß das Seebecken ganz oder teilweise erst während der Vergletscherung entstanden ist. Die Richtigkeit der Beobachtungen von Penk vorausgesetzt, an der zu zweifeln kein Anlaß vorhanden ist, stellt uns der Starnberger See Verhältnisse dar, welche unter allen bisher aufgestellten Theorien am besten ja allein mit der Annahme glazialer Erosion übereinstimmen; mehrere andre Fälle schließen sich diesem an. Wenn wir aber auch darin eine mächtige Stütze der Annahme einer Aushöhlung durch die Gletscher erkennen müssen und noch mehr ein fast entscheidendes Argument gegen alle andern bisher aufgestellten Theorien, so läßt sich doch auf der andern Seite nicht verkennen, daß auch der Annahme einer Ausschleifung der Seebecken erhebliche Hindernisse entgegenstehen.

Unter den oberbayrischen Randseen mag für den Ammer- und Chiemsee und wohl auch für den Tegernsee genau dasselbe gelten wie für den Starnberger See. Aber dem unmittelbar östlich vom Tegernsee liegenden Schliersee, der mit jenem in Lage und Beschaffenheit die größte Übereinstimmung zeigt, fehlt der große Gletscher, der ihn hätte aushöhlen können. Das Wassergebiet des Tegernsees, die Bergregion, aus welcher er Gletscher erhielt, ist eine ungleich größere als beim Schliersee, und überdies gesellten sich dazu zwei mächtige Zuflüsse vom Inngletscher, der eine durch das Achen- und Weißachthal, der andre durch das Brandenberger, Fallep- und Rothachthal (vgl. die beigeheftete Karte „Vergletscherung des Tegernseegebietes während der Eiszeit“); an seinen Gehängen reichte der Gletscher bis zu etwa 1200 m, das Eis hatte also eine Dicke von fast 500 m. Anders beim Schliersee: die Größe seines Wassergebietes ist ganz unbedeutend, und selbst wenn die niedrige Wasserscheide gegen das Aurachthal kein Hindernis war, um ihm Gletscher vom Gehänge des Jägerkammes, der Brecherspitze und dem zum Spitzingsee hinaufziehenden Gehänge zuzuführen, so war doch dieser Gletscher ein überaus kleiner; einen direkten Zuschuß aus dem Innthale erhielt

derselbe nicht, und ein unbedeutender Gletscherstrang, der wohl über das Kühzackeljoch vom Tegernsee herüberreichte, konnte nach den Terrainverhältnissen nur eine geringe Dicke von höchstens 50 m besitzen. Mag auch noch ein weiterer Zufluß aus dem Leitzachthale, aus der Gegend von Bayrisch-Zell, gekommen sein, so war jedenfalls auch dieser nicht bedeutend. Moränen reichen nur wenig über das Nordende des Sees hinaus, und der obere Teil des kaum 150 m über den Seespiegel sich erhebenden Berges, auf dem die Ruine Hohenwaldeck steht, trägt keine Spur von Randhöckerbildung. Der Gletscher kann also hier kaum mehr als 100 m Eisdicke gehabt haben, so daß wohl die Vermutung, er habe das Becken des Schliersees ausgetieft, von selbst wegfällt. Wenn man den Vertretern der Glazialerosion einwendet, daß man an den heutigen Gletschern der Alpen keine Spur von der Aushöhlung großer Becken bemerkt, so wird man auf die ungeheure Masse und Ausdehnung der diluvialen Eisströme verwiesen, welche das zu leisten vermochten, was ihren unbedeutenden Epigonen unmöglich ist; allein hier stehen wir vor einem Gletscher, der auch heute als keiner der bedeutendern in den Alpen gelten könnte. Wenn nun aber bei *einem* der oberbayrischen Erosionsseen dieses Resultat erzielt ist, so muß es sehr fraglich erscheinen, ob bei den andern eine Entstehung durch Eiserosion angenommen werden darf.

Es lassen sich noch viele andre Einwürfe erheben, z. B. daß kein Grund einzusehen ist, warum die Gletscher gerade da am stärksten erodieren sollen, wo sie, aus dem Gebirge heraustretend, sich weit ausbreiten, also an Dicke und damit an aushöhlender Kraft verlieren, oder wie es kommt, daß der Gardasee eine marine Reliktenfauna enthält, wenn er vom Eise ausgefeilt ist und nie mit dem Meere in Verbindung war. Vor allem aber muß die vielumstrittene Frage erörtert werden, ob denn die Gletscher eine so kolossale erodierende Wirkung auszuüben im stande sind.

Vielfach ist gesagt worden, daß Gletscher überhaupt nicht erodieren, daß das weiche Eis überhaupt keine oder nur eine unbedeutende scheuernde und glättende Wirkung auf seine Unterlage ausübe; dies ist auch ganz richtig, wenn wirklich nur Eis über die Felsoberfläche gleitet. Wenn aber dieses Eis auf seiner Unterseite zahlreiche Steine und Gerölle führt und mit sich fortschleppt, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß diese letztern energisch den Untergrund angreifen müssen. In der That sind die Anhänger der Seebildung durch Gletschererosion der Ansicht, daß die gewaltigen Eismassen der Diluvialzeit mächtige *Grundmoränen* mit sich führten und durch diese *die festen Gesteine abwetzten und aushöhlten*. Ein Blick auf die Moränenlandschaft zeigt, daß ungeheure Massen von Material von jenen Gletschern fortbewegt wurden. Es wird nun gesagt, daß damals das ganze Alpengebiet so vollständig mit Schnee und Firn überdeckt war, daß alle Berge davon verhüllt waren; mithin konnten nirgends Steine, Felsblöcke &c. auf die Gletscher herabstürzen und auf denselben Oberflächenmoränen bilden, also muß alles Material, welches die Diluvialgletscher fortschafften, dem Untergrunde entnommen und als Grundmoräne transportiert worden sein, welcher eine mehrere Meter betragende Mächtigkeit zugeschrieben wird. Diese Masse soll nun nicht nur in der intensivsten Weise den Untergrund kritzen und die Gesteine abreiben, sondern geradezu ganze Gesteinslagen aufpflügen und aufbrechen, die dann ebenfalls der Grundmoräne einverleibt werden. Als ein angeblicher Beweis für diese letztere Annahme wird die Thatsache angeführt, daß die Grundmoräne in der Regel je nach der Beschaffenheit des ältern Gesteines, auf welchem sie aufruht, eine eigentümliche Beschaffenheit zeigt, „der jeweilige Untergrund schimmert durch die Moräne hindurch"; über dem Hauptdolomite der Nordalpen sieht sie fast wie Dolomitgrus aus, über weichen Schieferthonen wird sie thonig &c.

Es muß jedoch auffallen, daß die Beschaffenheit der jetzigen Grundmoränen, wie wir sie oben kennen gelernt haben, so ganz von jener abweicht, welche den gewaltigen

Grundmoränen der Eiszeit zugeschrieben wird. In dem einen Falle sehen wir eine dünne, wenig mächtige Lage, welche aus von oben herabgestürzten Stücken der Oberflächenmoräne entstanden ist, im andern eine sehr mächtige Schicht, die durch Aufpflügung und Abreibung des Untergrundes gebildet sein soll. Dieser Kontrast wird dem außerordentlich großen Unterschiede zwischen den kleinen Gletschern von heute und den kolossalen Eisströmen von damals zugeschrieben, und es ist nicht zu verkennen, daß die Last eines mehr als 1000 m mächtigen Eisstromes, die sich langsam fortschiebt, kolossale Wirkung zu erzeugen im stande sein wird. Trotzdem aber müssen wir uns erinnern, daß das Eis selbst nicht aufpflügt und abreibt, sondern dazu der Reibsteine bedarf, und wenn, wie man annimmt, keine Oberflächenmoränen vorhanden waren, so entsteht die Frage, woher denn das Material kommt, welches die Abnutzung der Unterlage bewirkt. Sicher fand der vorrückende Gletscher beim Beginne der Eiszeit eine Menge lockern Materiales, Geröll ꝛc., auf seinem Wege vor, das er möglicherweise als Grundmoräne fortschaffen konnte, und mit Hilfe dieser wird er vielleicht auch stellenweise die obersten verwitterten, morschen Lagen des anstehenden Gesteines aufgepflügt haben. Aber wenn diese Materialien aus dem Gletscherbette hinausgeschafft sind, wenn dieser Kehricht einer frühern Periode entfernt ist, dann ist nicht einzusehen, woher dann immer neues Material kommen soll; es müßten nach Verbrauch des Schuttes die Gletscher moränenlos ihren Weg verfolgen.

Wir stehen also vor einem Dilemma: entweder war nach den ersten Phasen einer Vergletscherung gar kein Moränenmaterial mehr vorhanden, was wohl allen Beobachtungen und herrschenden Anschauungen widerspricht, oder die Erneuerung mußte durch stete Bildung von Oberflächenmoränen stattfinden. Dies ist von vornherein sehr wahrscheinlich, denn mag auch die Schnee- und Firndecke im Hochgebirge eine sehr bedeutende gewesen sein, so kann sie doch nicht alle Steilwände verdeckt haben, und diese werden daher stets abstürzende Blöcke und Schutt auf die Oberfläche der Gletscher geliefert haben. Sobald aber dies zugegeben wird, ist eins der Hauptargumente hinfällig, auf welches man sich bei der Beweisführung für die sehr energische Glazialerosion stützt; man kann nicht mehr sagen, daß alles Moränenmaterial durch die Gletscher selbst dem Boden entnommen sei.

Dafür, daß auch die Gletscher der Eiszeit in den Alpen mächtige O b e r f l ä c h e n m o r ä n e n besaßen, gibt es übrigens eine Reihe überzeugender Beweise. Die Vertreter der See-Erosion nehmen an, daß die Gletscher ihre Grundmoräne nicht nur thalabwärts mitschleppen, sondern dieselbe auch bergauf aus den Seebecken wieder herauszerren, was an sich schon höchst unwahrscheinlich ist. Schon aus diesem Grunde spricht das Vorkommen von Moränenmaterial in den thalabwärts von den Seebecken gelegenen Regionen entschieden für die Existenz ausgedehnter Oberflächenmoränen, und eine Reihe andrer Beobachtungen führt zu demselben Resultate. Das Innthal in Tirol z. B. war von einem gewaltigen Eisstrome erfüllt, der eine Mächtigkeit von mindestens 1200 m besessen haben muß und sich in der Richtung des Thales nach abwärts bewegte. Nun sind aber am Nordrande des Unterinnthales mehrere tiefe Einsattelungen des Randgebirges, welche bedeutend tiefer liegen als die damalige Oberfläche der Eisströme, aber bei weitem nicht auf das heutige oder damalige Thalniveau hinabreichen. Durch diese Pässe, z. B. durch die Einsenkung von Seefeld oberhalb Innsbruck und einige andre, gab der Inngletscher senkrecht auf die Richtung seines Laufes mächtige Eisströme ab, welche quer durch die Kalkalpen das nördliche Vorland erreichten und ebenso gut wie der Hauptgletscher große Geschiebemassen mit sich führten. Der Seefelder Paß liegt mehr als 600 m über dem Innthale, und es sind offenbar nur höher als der Paß gelegene Massen des Inngletschers, welche durch denselben seitlich gegen Norden abfließen konnten, während absolut unverständlich ist, wie ein Teil der sich in der Tiefe nach Osten bewegenden Grundmoräne in jenen nach Norden gerichteten, hoch gelegenen

Stromteil gelangen soll. Es muß also jenes Material, das z. B. durch den Seefelder Paß nach Norden gelangte, aus einer Oberflächenmoräne stammen.

Wir brauchen jedoch gar nicht diese Abzweigungen des Inngletschers aufzusuchen, eine allgemein verbreitete und fundamentale Erscheinung führt uns zu demselben Resultate: Man weiß, daß das zuverlässigste Mittel, um in den Kalkalpen die Höhe nachzuweisen, bis zu welcher ein aus den Zentralalpen kommender Gletscher emporreichte, darin besteht, daß man an den Gehängen der Kalkberge nach Stücken von kristallinischen Gesteinen aus den Zentralalpen sucht. So findet man z. B. auf der Nordseite des Innthales, bei Zirl, Innsbruck, Hall 2c., bis zu 1800 m Blöcke oder kleinere Stücke von kristallinischen Schiefern, Graniten 2c. Am Südgehänge des großen Sollstein bei Zirl habe ich z. B. hoch über der Alpe der Zirler Mader, welche 1700 m über dem Meere liegt, einen kleinen, vom Gipfel herabziehenden Graben so mit Blöcken von kristallinischen Schiefern erfüllt gefunden, daß man suchen mußte, um dazwischen Stücke des anstehenden Kalkgesteines zu finden. Mir scheint, daß einfach das Vorkommen großer Mengen solcher Findlinge hoch an den Thalgehängen mit absoluter Sicherheit die Existenz großer Oberflächenmoränen beweist.

Oberflächenmoränen existierten demnach, sie waren von sehr großer Mächtigkeit, wie z. B. aus der großen Masse des Moränenmateriales an den vom Inngletscher gegen Norden abzweigenden Eisströmen hervorgeht. Was aber bleibt denn für die Grundmoräne übrig, und welche Wirkung konnte diese ausüben? Die Existenz einer solchen kann um so weniger geleugnet werden, als sie ja nach unsern Auseinandersetzungen, wie bei den heutigen Gletschern, von der Oberflächenmoräne aus gespeist werden konnte. Ob sie aber eine mächtige, in steter Vorrückung begriffene Masse gleich dem Gletscher war und mit diesem gleichen Schritt hielt, das ist sehr zweifelhaft. Die sogenannte Grundmoräne zeigt nämlich, wie oben erwähnt wurde, starke Beimengung des unterliegenden Gesteines, sie wird durch dieses in ihrer Beschaffenheit wesentlich modifiziert, „der Untergrund schimmert durch". Das ist aber mit einer intensiven Vorrückung der Grundmoräne unvereinbar, wir werden dadurch auf ein Zurückbleiben, ein Stagnieren, somit auf eine verhältnismäßig geringe erodierende Wirkung hingewiesen.

Auf diese Annahme führt uns auch eine andre sehr verbreitete Erscheinung: an sehr vielen Punkten schalten sich nämlich in die sogenannte Grundmoräne geschichtete Ablagerungen von Thon, Sand oder Geröllen ein, welche nur durch die Wirkung fließenden Wassers abgesetzt sein können und daher auf eine auf dem Gletscherboden stattfindende Wasserzirkulation hinweisen. Solche Vorkommnisse deuten sowohl durch ihre Entstehung als durch ihre oft ungestörte Erhaltung auf ein Beharren der Massen, nicht auf eine fortwährende Verschiebung derselben. Daß mit solchen Thatsachen vollends der Gedanke an einen Aufwärtstransport der Grundmoräne aus einem Hunderte von Metern tiefem Seebecken, der stets als ein höchst gewagter betrachtet worden ist, als unmöglich wegfällt, bedarf keiner weitern Auseinandersetzung; damit ist aber auch die Annahme einer Ausschaufelung eines Seebeckens hinfällig geworden.

Neben diesen Schwierigkeiten in den Fundamentalanschauungen sprechen auch zahlreiche einzelne Vorkommnisse gegen die Annahme einer See-Erosion durch die Gletscher. Als eine der wichtigsten Beobachtungen in dieser Beziehung muß die von Alphonse Favre genannt werden, daß der Rhônegletscher bei seinem Austritte aus dem Genfer See über lose Geröllager wegging, ohne dieselben zu zerstören, und zwar an einem Orte, wo er nach den Voraussetzungen der Theorie in lebhafter erodierender Thätigkeit war; denn da nach übereinstimmender Ansicht der Spiegel des Genfer Sees 70—80 m höher lag als heute, so befinden sich jene Stellen noch im Bereiche des Seebeckens, und wir kämen dadurch zu dem seltsamen Resultate, daß derselbe Gletscher in demselben Becken im Westen die härtesten Gesteine

zerstörte, im Osten aber sich samt seiner Grundmoräne über lose Kieslager aufwärts schob, ohne dieselben zu verletzen.

Es gibt also eine Reihe von Gründen, welche gegen eine sehr intensive erodierende Wirkung der alpinen Gletscher und gegen eine Aushöhlung der Seebecken durch dieselben sprechen; allein es darf auch nicht vergessen werden, daß diesen Gründen andre von bedeutendem Gewichte entgegengestellt werden können: Die Verhältnisse des Starnberger Sees und einzelner andrer subalpiner Seen wurden schon erwähnt; wir dürfen aber auch nicht die ungeheuern Mengen von Moränenmaterial vergessen, welche von den Gletschern der Eiszeit aus den Alpen herausgeschafft worden sind. Wohl werden wir nach dem Gesagten diese Massen nicht als bloße Grundmoränenbildungen betrachten dürfen, sondern müssen bedenken, daß ein sehr großer Teil aus Oberflächenmoränen entstammt, also nicht auf unmittelbare Gletschererosion zurückgeführt werden kann. Trotzdem haben wir mit der Thatsache zu rechnen, daß in einzelnen näher untersuchten Fällen das Moränenmaterial, auf den Gebirgsteil, aus dem es stammt, zurückgebracht, diesen um mehr als 100 Fuß erhöhen würde, daß also die Abtragung während der Eiszeit diesen kolossalen Betrag erreichte und davon ein Anteil auch direkter Gletscherwirkung zukommen muß. Wir stehen also bei Betrachtung der Glazialerosion in den Alpen und speziell bei der Frage der Seenbildung vor einem vollständigen Rätsel und können nur mit voller Bestimmtheit sagen, daß alle versuchten Lösungen ungenügend sind.

Denselben Schwierigkeiten begegnen wir bei der Betrachtung andrer vergletscherter Regionen, von denen wir nur eine noch kurz erwähnen wollen. In unvergleichlich größerm Maßstabe als in den Alpen finden wir die Phänomene der Eiszeit in Nordeuropa. Skandinavien war ganz vereist, Finnland und die russischen Ostseeprovinzen bildeten ebenfalls selbständige Zentren, von denen eine ungeheure Eisdecke sich quer über die Nordsee nach England, über Holland, ganz Norddeutschland bis an den Rand der mitteldeutschen Gebirge, durch Polen bis an die Karpaten und weithin ins Innere von Rußland bis Kiew und Nishnij Nowgorod ausdehnte. Mit diesem gewaltigen Inlandeise verschmolzen an den Rändern die Gletschermassen Englands und Schottlands. Nordische Blöcke sind durch die ganze norddeutsche Ebene und fernhin bis an die Ufer des Dnjepr verbreitet worden. Die Wirkungen waren auch hier ungleich bedeutender als in den Alpen; die Mächtigkeit der Moränenbildungen, des Blocklehmes in Norddeutschland, des „Crossteengrus" in Skandinavien, des „Till" in Schottland, ist eine sehr große, auf der Insel Seeland wird die Mächtigkeit der Glazialablagerungen auf 400 Fuß angegeben. Die Rundhöckerbildung ist eine weit verbreitete und intensive und die Verbindung derselben mit gewissen kleinern Seen und ihren Felsenbecken eine derartige, daß es, wie bei den oben erwähnten kleinen Seen am Velber Tauern, kaum möglich ist, für dieselben an einer Ausfeilung durch Eis zu zweifeln (s. Abbildung, S. 524). Überhaupt ist der Seenreichtum in diesen Gebieten ein überaus großer, und von einer Reihe ausgezeichneter Forscher wird angenommen, daß sie alle durch die Gletscherbewegung ausgehöhlt worden sind; ja, es ist sogar die Ansicht ausgesprochen worden, daß das Becken der Ostsee seine Entstehung diesem Vorgange verdanke.

Es ist hier nicht unsre Aufgabe, die Vorgänge der Eiszeit zu schildern, wir haben nur einzelne Punkte hervorgehoben, welche für die Beurteilung der Frage nach der erodierenden Thätigkeit des Eises von Wichtigkeit sind. Eine befriedigende Antwort haben wir nicht erhalten; daß dem Eise durch Vermittelung von Steinen und Sand, die es an seiner Unterseite fortbewegt, eine erodierende Wirkung zukommt, ist ganz unzweifelhaft, daß einzelne seichte Felsbecken auf diese Weise ausgehöhlt wurden, ist sicher, was aber darüber hinausgeht, ist durchaus ungewiß, ja wir wissen nicht einmal, ob bei der Entwässerung eines Gebietes durch Gletscher eine größere oder geringere erodierende Wirkung geübt wird, als

wenn dasselbe Areal durch Bäche und Flüsse mit fließendem Wasser drainiert wurde. Je tiefer wir in das Wesen der Sache einzudringen, je schärfere Kritik wir zu üben suchen, um so unlösbarer werden die Widersprüche. Der Grund für diesen Zustand ist allerdings sehr leicht anzugeben; ein solcher kehrt überall in der Naturforschung da wieder, wo man an die Lösung eines verwickelten Problemes ohne die nötige positive Basis, ohne eine hinreichende Menge von Beobachtungen herantritt. Die Natur enthält keinen Widerspruch, nur wir tragen diesen in die Betrachtung derselben hinein. Daß die Ramsaysche Ansicht nicht mehr ganz verschwinden und untergehen wird, daß in ihr ein Korn Wahrheit liegt, ist



Rundhöckerlandschaft mit ausgeschliffenem Seebecken aus den schottischen Hochlanden (nach Geikie). Vgl. Text, S. 516 und 523.

wohl ebenso sicher wie die Thatsache, daß sie weder unmittelbar noch in irgend einer ihrer bis jetzt aufgestellten Modifikationen genügt und nicht die volle Wahrheit enthält. Man kann den heutigen Stand der Geologie dieser Frage gegenüber, wie Berendt sehr richtig bemerkt, kaum anders präzisieren als mit den Worten, die Leopold von Buch über fast denselben Gegenstand vor 80 Jahren geschrieben hat: „Solange es noch möglich ist, bei der Erklärung eines physikalischen Phänomens gleichsam eine Wahl zwischen mehreren Erklärungsarten zu gestatten, solange fehlt offenbar eine große Beobachtungsreihe in der Kenntnis dieses Phänomens, und wir können diese Kenntnis nicht eher für vollständig und erschöpft halten, als bis eine fortgesetzte Reihe von Thatsachen alle möglichen fremden Ursachen ausschließt und nur eine zuläßt, die dann notwendig die richtige sein muß".

Eisberge.

Das Eis transportiert festes Material nicht nur, wenn es im Bette des Gletschers gleitet, sondern es dient auch als Floß, auf welchem Steine, Sand und Schlamm schwimmend über das Wasser transportiert werden können. Wir haben oben gesehen, daß die Gletscher der polaren Gegenden, welche sich bis ins Meer vorschieben, hier „kalben" (s. untenstehende Abbildung). Die zusammenhängende Eismasse zerbricht, die einzelnen Teile schwimmen als **Eisberge** davon und werden von Meeresströmungen auf weite Strecken fortgetrieben, ja sie dringen oft weit in gemäßigte Breiten vor, ehe das warme Wasser ihr vollständiges Schmelzen bewirkt hat; vom Südpole her dringen sie z. B. im Atlantischen Ozeane bis zur Kapstadt und in die Nähe der La Plata-Mündung vor. Bisweilen ist beobachtet worden, daß einzelne dieser Berge Felsblöcke, Steine oder Schutt auf ihrer Oberfläche tragen, und wenn die ganze Eismasse geschmolzen ist, so sinken diese Fremdlinge auf den Meeresboden. Zwar sind die Fälle, in welchen man solche Blöcke auf Eisbergen gesehen hat, ziemlich selten; aber immerhin ist die Zahl derselben, wie die Tiefseeuntersuchungen gezeigt haben, genügend, um in manchen Regionen der polaren Meere den Grund mit solchen Findlingen zu bestreuen. Es entstehen dadurch Meeresablagerungen von sehr eigentümlichem Charakter, welche dadurch ausgezeichnet sind, daß ein beliebiges, meist sehr feinkörniges Gestein, Kalk, Sandstein, Thon oder Schieferthon, isoliert einzelne größere und kleinere Trümmer einer vollständig fremdartigen Felsart enthält.



Ins Meer auslaufende Gletscher von Jan Mayen (nach dem Werke der norwegischen Polarexpedition).

Es ist notwendig, hier vor einer naheliegenden und sehr häufig vorkommenden Verwechselung zwischen den verschiedenen Arten des im Meere treibenden Eises zu warnen:

abgesehen von dem stets nur in sehr geringer Menge vorhandenen harten und klaren Süßwassereise, das aus Flüssen stammt, sind zwei verschiedene Arten von Eis vorhanden, das **Gletschereis der Eisberge** (s. untenstehende Abbildung) und das **Salzwassereis**, welches durch das Gefrieren von Meerwasser entsteht und weitaus die größte Rolle in den Polarregionen spielt. Es bildet die Eisfelder, die durch geringere Eisdicke und ebene Beschaffenheit ausgezeichnet sind, wenigstens im ersten Jahre ihres Bestehens. Wird das Meerwassereis älter, überwintert es ein oder mehrere Male, dann gehen mit demselben eigentümliche Veränderungen vor sich. Namentlich bei Gelegenheit der österreichischen



Eisberge (nach Geikie).

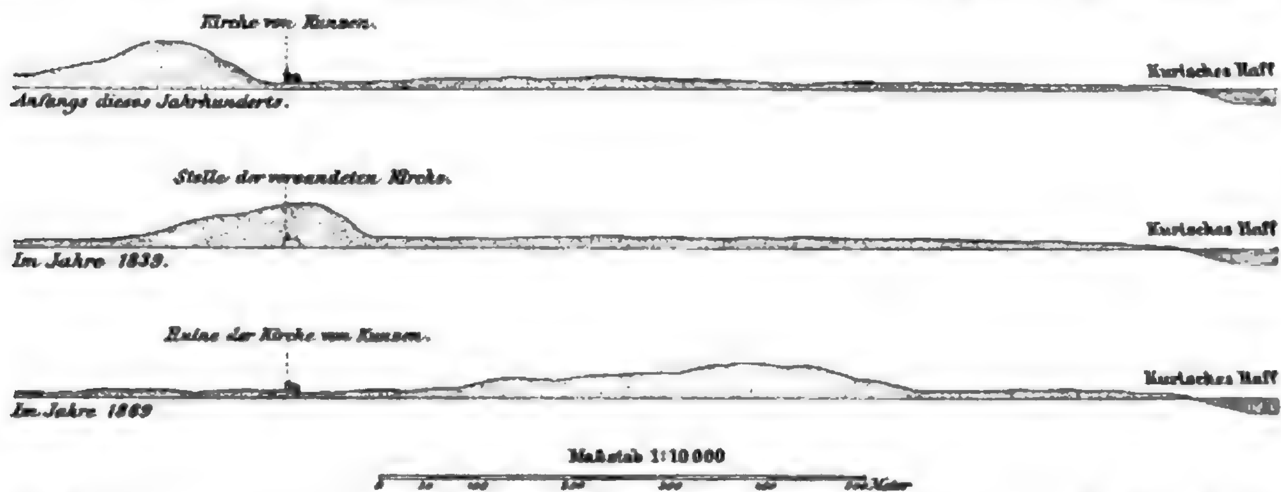
Polarexpedition unter **Weyprecht** und **Payer**, welche zwei Winter von solchen Massen eingeschlossen zubrachten, wurden diese Veränderungen genau beobachtet und eingehend beschrieben. Während des Winters werden die Eistrümmer und Felder in eigentümlicher Weise gegeneinander gedrängt, überschoben, zerbrochen, wieder miteinander verbunden, und so entstehen die Packeismassen, welche so oft schon den kühnen Unternehmungen vordringender Polarexpeditionen ein gebieterisches Halt entgegengerufen haben.

Durch das Meerwassereis wird nicht oder nur ausnahmsweise Gesteinstransport veranlaßt, anders ist es bei dem Eise von Flüssen, die bisweilen aus den Regionen ihres Oberlaufes gewaltige Felsblöcke mit sich bringen. Nach **Lyell** ist dies namentlich am St. Lorenzstrome in Kanada in großartigstem Maßstabe der Fall.

Wirkung des Windes.

Wasser ist weitaus der mächtigste Faktor der Denudation und des Transportes von festem Materiale, in einem Maße, daß in Gebieten, in welchen es seine volle Thätigkeit entwickelt, die Wirksamkeit der übrigen Kräfte daneben in den Hintergrund tritt. Trotzdem dürfen wir diese letztern nicht unberücksichtigt lassen und müssen namentlich die Bedeutung der *Winde* etwas näher ins Auge fassen. Gröberes oder fest zusammenhängendes Gesteinsmaterial werden die Luftströmungen allerdings in der Regel weder unmittelbar zerstören, noch vom Platze bewegen können, aber Staub und loser Sand unterliegen der Einwirkung des Windes.

Die bekannteste Wirkung des Windes ist der Transport des Flugsandes und dessen Aufhäufung zu *Dünen*. Diese Vorgänge finden überall statt, wo der Wind über Flächen von losem, unzusammenhängendem Sande hinstreicht, welcher durch keine Vegetation zu-



Die Wanderung der Dünen bei dem Dorfe Kunzen auf der Kurischen Nehrung (nach *Berendt*). Vgl. Text, S. 529.

sammengehalten wird. Mit großer Intensität findet die Dünenbildung an der Meeresküste statt, wo bei Ebbe weite Strecken von losem Sande bloßgelegt werden und der Wind mit besonderer Stärke weht; aber sie tritt auch im Binnenlande ein und erreicht namentlich in den Wüstengebieten eine ausgezeichnete Entwickelung.

Die Art und Weise der Dünenbildung ist eine sehr einfache und leichtverständliche. Würde der Sand über eine ganz vollkommene Ebene getrieben, in der ihm keinerlei Hindernis entgegensteht, so würde er sich gleichmäßig ausbreiten, wo aber ein solches Hindernis vorhanden ist, da fällt er in größerer Menge nieder; es genügt, eine Reihe von Pflöcken senkrecht zur Windrichtung an einer Küstenstrecke einzuschlagen, an welcher der Sand treibt, um die Bildung einer Düne künstlich zu bewirken. Die Sandkörner bleiben vor den Pflöcken liegen und bilden hier eine sehr sanft ansteigende Böschung, während andre unmittelbar hinter den Pflöcken auf deren Leeseite niederfallen und sich hier unter steilerm Winkel ansammeln. In der Natur bilden Steine, Pflanzenwuchs und ähnliche Körper das Hindernis, welches den ersten Anstoß zur Dünenbildung gibt. Bald ist dasselbe vom Sande ganz bedeckt, aber nun bildet die Anhäufung dieses letztern die Barriere, an welcher fernerhin Sand niederfällt, so daß die Düne sich immer mehr vergrößert. Auf diese Weise bilden sich auf dem Boden mehr oder weniger gleichlaufende Linien oder Ketten von Sandhügeln. Dieselben bleiben jedoch nicht immer auf derselben Stelle; wenn sie eine gewisse Höhe überschreiten, trägt der Wind keine neuen Körner mehr über sie weg, die vordere Böschung wird dann durch das Anblasen neuen Sandes immer sanfter, während der Kamm nach rückwärts hinuntergeweht wird, der Wind trägt wieder neuen Sand in die Höhe, es bildet sich ein

neuer Kamm, der etwas weiter nach vorn liegt als der ursprüngliche, und so wandern die Dünen fortwährend, wenn auch langsam, der herrschenden Windrichtung entsprechend, landeinwärts.

Die Höhe und Masse der einzelnen Dünenzüge ist je nach den örtlichen Bedingungen sehr verschieden. In der Sahara sollen einzelne die enorme Höhe von 200 m erreichen und zu Zügen von 70 bis 80 km Länge angeordnet sein. Gewöhnlich wird eine so gewaltige Höhe bei weitem nicht erreicht; selbst in der Libyschen Wüste, die doch durch ihren besondern Sandreichtum ausgezeichnet ist, sah Zittel keine Dünen, welche die Höhe von



Felsoberfläche, durch Sandstürme angenagt. Vgl. Text, S. 530.

100 m überschritten hätte, während die Mehrzahl derselben etwa 20—30 m messen mochte. Die Küstendünen erheben sich am Mittelmeergestade in Frankreich nirgends über 6—7 m, während sie in der Gascogne 90 m erreichen und in der Kurischen Nehrung bis zu 70 m ansteigen.

Durch ihre Verschiebung und Wanderung gegen das Inland werden die Dünen in hohem Grade schädlich. Es macht sich das namentlich an solchen Küstenstrecken bemerkbar, wo in neuerer Zeit die bisher vorhandenen, die Dünenbildung wirksam verhindernden Waldbestände geschlagen wurden. Mit Recht bietet man jetzt alles auf, um durch Wiederbelebung der Vegetation die Dünen zu „binden". Eine Maßregel besteht darin, daß durch Anlage künstlicher Hindernisse unmittelbar am Ufer eine neue Bildung von Sandanhäufungen erzielt und durch diese „Vordüne" den weiter landeinwärts gelegenen Hauptdünen die Zufuhr von neuem Sande abgeschnitten wird. Die hinter der Vordüne gelegene Fläche wird dann mit Gräsern und andern Pflanzen besäet, die auch auf dem elendesten Sandboden gedeihen; es bildet sich nun eine Grasnarbe, es beginnt die Humusbildung, welche die Anpflanzung von Föhrenbeständen 2c. gestattet. Von diesen in der Fläche gelegenen Kulturen aus wird der

Angriff auf die eigentlichen Dünenhügel unternommen, indem man auch ihre Gehänge mit Vegetation zu überkleiden und so der Bewegung Herr zu werden sucht.

In vielen Gegenden kann man die verderblichen Wirkungen der wandernden Dünen beobachten, sehr deutlich z. B. auf der Nehrung des Kurischen Haffes, deren Verhältnisse Berendt eingehend geschildert hat. Dort bewegt sich quer über die schmale, 11 Meilen lange Landzunge ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gedehnte, hohe und breite Dünenkette, die, wie erwähnt, in einzelnen ihrer Gipfel bis zu 70 m Höhe ansteigt. Das durchschnittliche Vorrücken derselben wird auf fast 6 m im Jahre berechnet, und unaufhaltsam begräbt sie vereinzelte Waldbestände, Dörfer, Felder unter ihren Sandmassen. Die Bewohner sind gezwungen, ihre Wohnungen zu verlassen und sich an andern Orten anzusiedeln, wo sie nach einiger Zeit die unerbittlich nachfolgende Düne wieder erreicht. Aigetta, Negeln, Karwaiten sind auf diese Weise verschwunden, Pillkoppen ist beim Herannahen des Sandes aufgegeben, an einem andern Orte wurde ein neues Pillkoppen gegründet, das auch schon verschüttet ist, und die abermals vertriebene Einwohnerschaft bewohnt nun schon das dritte Pillkoppen, das ebenfalls schon wieder nahe daran ist, im Sande unterzugehen. Dasselbe Schicksal bedroht alle Ortschaften auf der Haffseite der Nehrung[1], und es ist sehr zweifelhaft, ob ihre Rettung durch Bindung der Dünen gelingen wird. Aber nicht dauernd bleiben die verschütteten Ortschaften begraben, nach einer Reihe von Jahren hat die Düne die Stelle passiert und läßt die Ruinen wieder aus niedrigem Sande hervorragen. Die Abbildungen auf S. 527 zeigen uns diesen Fall an dem Dorfe Kunzen: im Anfange unsers Jahrhunderts wurde das Dorf von der Düne erreicht, in den nächsten Jahrzehnten war es von dieser ganz bedeckt, seit einiger Zeit aber sind die Ruinen der Kirche wieder auf der Windseite des Sandberges zum Vorscheine gekommen. Endlich wird der Dünenzug die ganze Nehrung überschritten haben und seine Sandmassen in das Haff geweht werden. Schon jetzt schreitet infolge dieses Vorganges die Haffküste der Nehrung vorwärts, und in wahrscheinlich 200, höchstens 550 Jahren wird die ganze Düne ins Haff gefallen und



Konglomeratblock, durch Winderosion frei gelegt (nach Gilbert). Vgl. Text, S. 530.

[1] Ausgenommen ist nur Sarkan im südlichsten Teile der Nehrung, wo die Dünen sehr niedrig sind.

durch die große Sandmasse das seichte Becken, wenigstens in seinem nordöstlichen Teile, ganz verlandet sein.

Nicht nur Quarzsand wird auf diese Weise fortgetrieben; auf manchen Koralleninseln ist es der feine Kalkdetritus, welcher dieselbe Rolle spielt, und auf den Bermudas werden die Dünen, wie das erst neuerlich Wyv. Thomson bei Gelegenheit der Challenger-Reise geschildert hat, der Kultur in hohem Grade gefährlich und verderblich. Diese zusammengewehten Kalkmassen erhärten bei genügender Zirkulation von kohlensäurehaltigem Wasser zu einem sehr festen Kalke, welcher, entsprechend dem Böschungswinkel, in stark geneigten Bänken geschichtet ist. Wie wir in dem nächsten Abschnitte sehen werden, trägt dieser Vorgang sehr wesentlich dazu bei, um den obersten Kranz der Koralleninseln über das Meeresniveau ansteigen zu machen.

Von großer Bedeutung in geologischer Beziehung sind die Sand- und Staubstürme der Steppengegenden, welche namentlich in neuerer Zeit größere Beachtung gefunden haben, nachdem von Richthofen die Bildung einer sehr wichtigen und verbreiteten Ablagerung, des sogenannten Löß, auf diesem Wege erklärte. Es ist jedoch hier nicht der Ort, näher auf diesen interessanten Gegenstand einzugehen, dessen Besprechung im zweiten Bande bei Schilderung des Diluviums folgen wird. Der Wind an und für sich ist nicht im stande, auf feste Steine unmittelbar eine irgend nennenswerte zerstörende Wirkung auszuüben; aber wie das fließende Wasser auf seinen Untergrund namentlich durch die festen Teile wirkt, die es mit sich führt, so erhält auch der Wind erodierende Kraft, wenn er Sandkörner mit sich treibt. Auf diese Weise können dem Anpralle von Sandstürmen ausgesetzte Felsoberflächen durch den fortwährenden Anprall stark angegriffen und tief gefurcht werden (s. Abbildung, S. 528); ja, in wasserarmen Gegenden ist dies einer der wirksamsten Faktoren der Denudation. Daß die erzielte Wirkung keine so ganz unbedeutende ist, zeigt unter anderm der auf S. 529 abgebildete Block, welchen Gilbert in den westlichen Teilen der amerikanischen Union beobachtet hat. Es ist ein harter Konglomeratblock, der von einer schroffen Thalwand abgestürzt ist und auf einem zarten Schiefer aufruht. Dieser letztere ist ringsum durch die Thätigkeit des sandbeladenen Windes abgetragen und hat sich nur unter dem Blocke erhalten, so daß das Konglomeratstück nun auf einem erhabenen Postamente ruht.

Wüstenbildung.

Das vollständigste Bild dessen, was die Erosion ohne Wasser hervorbringt, die eigentümlichen Terrainformen, die auf diese Weise hervorgebracht werden, zeigen uns die Wüsten. Es wird uns daher über unsern Gegenstand am besten orientieren, wenn wir die Erscheinungen der Wüstenbildung etwas näher ins Auge fassen. Zwar sind die Wüsten nicht absolut wasserlos, aber die Niederschläge sind doch so gering und versickern so rasch, daß sie für die Oberflächengestaltung wenig in Betracht kommen.

Die Wüstenbildung wird in erster Linie nicht durch geologische, sondern durch meteorologische Ursachen bedingt. Wo in einer Region trockne Winde so sehr vorherrschen, daß nur ein Minimum von Niederschlägen fällt, da treten Wüsten auf. Die Sahara verdankt ihre trostlose Beschaffenheit der Herrschaft nördlicher und nordöstlicher, vom Mittelmeere kommender Winde, welche über dem heißen Kontinente keine Wasserdämpfe zu verdichten vermögen. Das weite Wüstengebiet Zentralasiens, die Gobi, ist von hohen Gebirgswällen umgeben, an denen sich alle Feuchtigkeit niederschlägt, so daß die Winde ganz ausgetrocknet in die Niederung gelangen. Die Sahara, Arabien, ein großer Teil von Syrien, Mesopotamien und Persien bilden ein großes Wüstengebiet; nächst ihm kommt an Ausdehnung die

zentralasiatische Wüste Gobi, neben welcher noch die Kalahari in Südafrika, die nordamerikanische Wüste östlich vom Felsengebirge, die Wüste Atacama auf der Grenze von Chile und Bolivia, endlich das Innere von Neuholland genannt seien.

Wir wollen nur auf die Betrachtung der Sahara etwas näher eingehen, da sie alle Erscheinungen in der großartigsten Weise zeigt. Eine große Anzahl von wissenschaftlichen Arbeiten liegt über die Sahara vor, unter welchen das Werk von Zittel einen vollständigen Überblick über den jetzigen Stand unsers Wissens bietet. Das riesige Gebiet der Sahara erstreckt sich vom Atlantischen bis zum Roten Meere und von der Nordgrenze des Sudân bis an den Atlas und das Mittelmeer über einen Flächenraum von 160,000 □Meilen, ist



Bab el Cailliaud in der Libyschen Wüste. Vgl. Text, S. 533.

also nicht viel kleiner als ganz Europa mit Ausschluß seiner Inseln. Lange Zeit hindurch machte man sich ziemlich allgemein von der Beschaffenheit dieser weiten Länderstrecke eine sehr falsche Vorstellung; man hielt die Sahara für eine gleichmäßige, nur von Dünenzügen unterbrochene Sandfläche, deren Boden beckenartig von allen Seiten gegen die Mitte abfällt, für eine Mulde mit allmählich ansteigenden Rändern, deren Inneres erheblich tiefer liegt als der Meeresspiegel, und man dachte allen Ernstes, daß es nur der Anlage eines großen Kanales bedürfe, um den größten Teil der Sahara in einen Binnenozean zu verwandeln. Man glaubte auch vielfach an die Ausführbarkeit eines solchen Projektes und debattierte schon eifrig, welchen Einfluß eine solche Veränderung auf die Küstenländer des Mittelmeeres und auf das Klima von ganz Europa ausüben müßte; man fürchtete sich sogar schon vor dem Eintritte einer neuen Eiszeit, wenn die warmen Wüstenwinde unsre Gegenden nicht mehr erreichen würden.

Diese Meinungen sind aber irrige. Die Wüstenwinde erreichen unsre Gegenden nicht und spenden uns keine Wärme, und die Sahara ist kein vertieftes Becken, das man unter

Wasser setzen kann, denn nur ganz beschränkte Striche südlich von Tunis und in der Umgebung der Ammonsoase liegen etwas tiefer als der Meeresspiegel.

In Wirklichkeit ist die Sahara ein Gebiet von großer landschaftlicher Mannigfaltigkeit; mächtige Hochgebirge mit Gipfeln bis zu 2500 m Höhe, steinige Hochebenen, Dünenregionen, Becken mit lehmigem Boden und salzigen Seen und Sümpfen, fruchtbare Oasengebiete wechseln mannigfaltig miteinander ab. Dagegen ist der geologische Bau ein überaus einfacher: horizontal gelagerte Schichttafeln bilden nahezu ausschließlich das Material, zu welchem nur in wenigen Gegenden, in den Hochgebirgen von Ahaggar und Tibesti, Eruptivgesteine vorkommen. Die Sahara baut sich aus lauter terrassenförmig übereinander aufsteigenden Ebenen auf, deren Decken von den Schichtflächen, deren abfallende Ränder von den Schichtköpfen gebildet sind, und selbst die bedeutenden Gebirge bestehen, soweit die Nachrichten reichen, der Hauptsache nach aus enger sich zusammendrängenden Terrassenstufen. Der Flugsand ist die jüngste Bildung, welche weiten Strecken ganz fehlt, an andern dagegen in so mächtigen Massen angehäuft ist, daß er den Terrassenbau des Grundgebirges verhüllt. Von den wichtigsten Terrainformen der Sahara ist in erster Linie die Hammâda zu nennen, die Steinwüste, in welcher die Grundzüge des geologischen Baues am klarsten hervortreten; eine und dieselbe Schichtfläche bildet auf weite Strecken hin den ebenen Boden, der aus hartem Fels oder festem Lehme besteht. Die unabsehbare Fläche ohne Wasser und Vegetation ist mit Blöcken, Trümmern und Splittern von Gestein bedeckt, oder statt ihrer treten in der als Serir bezeichneten Wüstenform zahllose kleine, gleichmäßige und abgerundete Steinchen auf. Tagelang dauert die Wanderung über eine solche Hammâdafläche, endlich gewahrt man in der Ferne einen steilen Absturz, der sich geradlinig hinzieht, es ist eine neue Terrassenstufe, ein Schichtkopf, über welchen man hinansteigt, um über demselben wieder die gleiche eintönige Ebene zu finden. Als eine besondere Eigentümlichkeit dieser Art der Wüste sind die sehr charakteristischen Inselberge, die sogenannten „Zeugen", die Gura der Araber, zu nennen. Die einzelnen Terrassen erheben sich nämlich nicht unvermittelt übereinander, sondern jede neue Stufe wird schon auf eine Entfernung von mehreren Meilen durch das Auftreten von Inselbergen angekündigt, die sie in einem breiten Gürtel wie eine Vorpostenkette umgeben. Alle diese isolierten Kuppen sind auf einer und derselben Stufe von gleicher Höhe, welche derjenigen des Randes der nächst höhern Stufe entspricht, und bei allen wird die Decke von derselben Schicht gebildet, aus welcher auch die Oberfläche der nächst höhern Terrasse besteht. Es geht daraus hervor, daß die Inselberge nur übriggebliebene Stücke einer ursprünglich weit ausgedehntern Terrasse darstellen, welche, vermutlich infolge größerer Widerstandskraft, von der Erosion verschont worden sind.

Die Hochgebirge der Sahara stellen der Hauptsache nach die Erscheinungen der Hammâda in mächtig zusammengedrängtem und gesteigertem Maßstabe dar, gewaltig türmen sich die Terrassen übereinander und bilden Hochregionen, in denen teilweise reichlicher Regen fällt; ja, im Winter sind dieselben stellenweise drei Monate hindurch mit Schnee bedeckt. In den tief eingerissenen Thälern brausen nach heftigen Regengüssen wilde Sturzbäche, Geröll und Felsblöcke mit sich reißend, herab; aber sie versiegen und versinken in den Boden, sobald sie in die flachern Gebiete hinaustreten. In den Thälern dieser Gebirge mit ihren Bächen und Seen ist reiche Vegetation, während die Gehänge der Berge und ihre Hochflächen trostlose Einöden darstellen.

Einen andern Haupttypus der Wüstenlandschaft, der mit der Hammâda durch mannigfache Übergänge verbunden ist, bildet die Sand- und Dünenwüste, die „Areg-Region", die trostloseste aller Ausbildungsarten, wenigstens da, wo sie in voller Entwickelung auftritt. Ein reiner, meist lichtgelber Quarzsand bedeckt als ein welliger Teppich den Boden, „aus dem in weitern oder engern Abständen Gruppen unregelmäßig geordneter, oder häufiger paralleler Ketten aneinander gereihter Hügel hervortreten. Soweit das Auge schaut, sieht es nichts

als Sand, ein einziges unabsehbares, fahles Sandmeer, aus dem die gewaltigen Dünen wie riesige versteinerte Wellen hervorragen. Da, wo die Dünen in wirren Haufen beisammenstehen, ist der Reisende zuweilen wie in einem tiefen Kessel von steilen Böschungen umschlossen, und es bedarf der vollen Aufmerksamkeit des kundigen Führers, um den Ausweg aus diesem Labyrinthe zu finden. In der Libyschen Wüste, dem großartigsten Sandgebiete der ganzen Sahara, erscheinen die Dünen meist zu förmlichen Gebirgsketten angeordnet, schon von der Ferne kenntlich an der rein gelben Färbung und dem vielköpfigen Profile. Zwischen denselben erstrecken sich ebene Thäler von verschiedener Breite, bald mit Sand bedeckt, bald den harten, unverhüllten Felsboden zur Schau tragend (s. Abbildung, S. 531).

„In Abständen von 1 bis 2 km erheben sich die rundlichen Köpfe, in der Profilansicht mit einem sanft und einem steil ansteigenden Gehänge. Im Querschnitte steigt die dem Winde zugekehrte Seite langsam und allmählich an, ihre Oberfläche ist am Fuße, namentlich nach einem Sturme, wellig bewegt, gegen den Gipfel wird die Neigung allmählich steiler, oben ist der Grat haarscharf abgeschnitten. Von da fällt die dem Winde abgekehrte Seite mit so steilem Winkel ab, daß man Stunden, ja halbe Tage lang längs der Dünenkette zu marschieren genötigt ist, um eine Einsenkung aufzusuchen, welche der Karawane das Überschreiten ermöglicht. Am schauerlichsten erscheint die Dünenwüste bei heftigem Sturme; dann ist die Luft mit feinem Sande erfüllt, durch förmliche schwarze Sandwolken verdunkelt. Die Dünen rauchen, ihr Umriß verschwimmt mit der fahlen Luft; alles scheint in Bewegung zu sein. Mit entsetzlicher Gewalt werfen die Windstöße scharfe Sandkörner gegen alle erhabenen Gegenstände, und der Reisende legt sich mit brennendem Gesichte und Händen, vom Staube geblendet, zu Boden und schützt sich durch Decken gegen die Unbill des Samum. Erstaunliche Massen von Sand werden während eines Sturmes von der Stelle bewegt. Auch unterliegt es keinem Zweifel, daß die Dünen ihre Gestalt dem Winde verdanken. Man kann sich leicht überzeugen, wie jede Unebenheit des Bodens, ein Felsblock, ja ein moderndes Kamelgerippe, ein einzelner Busch, Veranlassung zur Aufwerfung eines Sandhügels bieten. Und hat sich ein solcher Neuling einmal gebildet, so treibt der Wind stets frisches Material herbei. Die Sandkörnchen werden an der Windseite angetrieben, in die Höhe geschoben und zuletzt über den Grat hinabgerollt, so den Querschnitt der beginnenden Düne verbreiternd. Nur unter besonders günstigen Bedingungen dürften jedoch noch jetzt neue größere Dünenketten entstehen, denn die bereits vorhandenen bilden natürliche Sammler des treibenden Flugsandes und vergrößern beständig ihren Umfang. Mag sich die äußere Gestalt der Dünen im Verlaufe der Zeit etwas verändern, mögen sich kleinere von ihrer Stelle bewegen, durchgreifende Veränderungen scheinen kaum noch vorzukommen. Alle größern, im Reisegebiete der Sahara gelegenen Dünengruppen tragen seit Menschengedenken Namen und werden vom Araber nach Verlauf von Jahren wiedererkannt.

„Im großen Sandmeere der Libyschen Wüste hört das vegetabilische und animalische Leben fast vollständig auf. Man kann tagelang wandern, ohne ein dürftiges Wüstengewächs zu erblicken, ohne den Ruf eines Vogels oder das Summen eines Insektes zu vernehmen. Im allgemeinen pflegt aber die Sandwüste keineswegs die unfruchtbarste Wüstenform zu sein. In der westlichen Sahara, wo zwei- bis dreimal im Jahre ausgiebige Regenschauer den Boden befeuchten, sprießt nach solchen Tagen, wie durch Zauberspruch hervorgelockt, eine grüne, mit bunten Blüten geschmückte Vegetation, die jedoch schon nach wenigen Tagen unter den sengenden Sonnenstrahlen erstirbt. Häufig sammelt sich auch Feuchtigkeit in geringer Tiefe und ermöglicht die Existenz einer bleibenden Vegetation, so daß die besten Weideplätze in der nordwestlichen Sahara sich gerade im Areggebiete befinden." (Zittel.)

Wir haben schon früher bei Besprechung der artesischen Brunnen gesehen, daß die Fruchtbarkeit der Oasen wesentlich abhängig ist von der Ergiebigkeit der Brunnen, welche von

einem, wie es scheint, sehr mächtigen und ausgebreiteten unterirdischen Wassersysteme gespeist werden. Allerdings fällt auch in der Sahara Regen, aber doch so selten, und sein Wasser versinkt so rasch, daß unter den jetzigen Verhältnissen seine Mitwirkung bei der Herausbildung der Oberflächenformen und bei der Erosion kaum in Betracht kommt. Heute ist vor allem die fortwährende und sehr rasche Temperaturveränderung, der Wechsel von drückender Hitze und empfindlicher Kälte, welcher täglich beim Auf- und Untergange der Sonne stattfindet, einer der wesentlichsten Faktoren der geologischen Veränderung. Sobald die Sonne unter dem Horizonte verschwunden ist, tritt empfindliche Kühle ein, so daß auf den höher gelegenen Hammâden oft noch im Mai Frost vorkommt. Am kältesten ist die Temperatur unmittelbar vor Sonnenaufgang, um dann einer glühenden Hitze Platz zu machen; die Schwankungen der Schattentemperatur betragen oft in 24 Stunden 45° C. Die hierdurch bedingte, stets wechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteine erzeugt, unterstützt durch Frost im Winter und durch den ergiebigen Nachttau, feine Risse im Gesteine, die sich allmählich vergrößern. Bisweilen sieht man größere Stücke, namentlich von Feuerstein, welche ganz zerklüftet sind und bei einem Anstoße in Trümmer zerfallen. Es ist damit die eigentümliche Erscheinung verbunden, daß sich nicht eine äußere Verwitterungskruste bildet, sondern die einzelnen Massen von innen heraus zerklüften und zerfallen. Als ein zweiter Faktor tritt noch die Wirkung der vom Winde getriebenen Sandkörner hinzu, welche zwar zunächst alle Felsoberflächen polieren und glätten, aber im Laufe der Zeit eine langsame Zerstörung durch ihre fortwährende Reibung hervorrufen.

Ist nun diese Art abtragender Thätigkeit, wie wir sie heute allein im größten Teile der Sahara finden, im stande, die merkwürdige und komplizierte Reliefbildung zu erklären? Das Vorhandensein ungeheurer Mengen von Flugsand, die Terrassenbildung, die Menge der Inselberge, die Becken mit ihrer Lehmausfüllung, alles das sind Erscheinungen, welche auf eine sehr ausgiebige Erosion hinweisen, und es mag bei aller Größe der geologischen Zeiträume bedenklich erscheinen, diese Erscheinungen jenen überaus langsam wirkenden Ursachen ohne Mithilfe von bewegtem Wasser zuzuschreiben. Es hat diese Rücksicht in Verbindung mit einigen zoogeographischen Erwägungen zu der Annahme der frühern Existenz eines Saharameeres geführt. Wenn wir auf eine Besprechung dieser Hypothese eingehen, so müssen wir in erster Linie die Zeit feststellen, in welcher diese Überflutung stattgefunden haben soll. Da die ganze Sahara aus marinen Kalken, Mergeln und Sandsteinen zusammengesetzt ist, muß ihr Gebiet selbstverständlich Meeresboden gewesen sein, als diese Gesteine sich niederschlugen. Da nun die festen, terrassenbildenden Ablagerungen bis in die erste Hälfte der Tertiärzeit reichen, dann aber das Meer zurücktrat, so entsteht die Frage, ob später, in den letzten Phasen der tertiären und während der diluvialen Zeit, das Meer abermals vordrang, und ob die Salzausblühungen, der Flugsand und die heutige Reliefbildung damit in Verbindung gebracht werden können.

Die fortschreitende Kenntnis der Sahara hat diese sehr allgemein verbreitete Annahme nicht bestätigt. Es ist zwar möglich, daß das Meer ganz beschränkte Gebiete unmittelbar am Rande des Mittelmeeres, namentlich das Seengebiet südlich von Tunis, zur Diluvialzeit erreicht habe, von einer allgemeinen Wasserbedeckung kann aber keine Rede sein. Nirgends haben sich im Innern Strandlinien, jungtertiäre oder diluviale Meeresniederschläge und Versteinerungen gefunden; der Salzgehalt bildet, wie wir im nächsten Abschnitte sehen werden, eine gemeinsame Eigentümlichkeit aller abflußlosen Gebiete, und der Flugsand ist zweifellos nur ein Verwitterungsprodukt, welches aus der Zerstörung der sehr verbreiteten, zur Kreide- und Devonformation gehörigen Sandsteine entstanden ist.

Weit wahrscheinlicher ist die Annahme, daß das Saharagebiet früher ein feuchteres Klima gehabt habe als heute, daß reichliche Niederschlagsmengen fielen und Bäche und

Flüsse das Gebiet durchschnitten, daß also in früherer Zeit fließendes Wasser in ausgiebiger Weise an der Erosion und Oberflächenbildung mitgearbeitet hat. Es gibt eine Anzahl von Thatsachen, welche geradezu als vollgültige Beweise für die Richtigkeit dieser Auffassung gelten können. In erster Linie gehört die außerordentlich verbreitete und charakteristische Erscheinung der zahlreichen Trockenthäler, der „Wadi", hierher, welche teilweise auf sehr große Erstreckung verfolgt werden können. Wohl das auffallendste Beispiel aus der großen Zahl bildet der vielgenannte und sagenberühmte Wadi Irharhar, der sich vom Ahaggargebirge auf etwa 200 Meilen bis zum Seengebiete südlich von Tunis verfolgen läßt. In ihm sammeln sich alle Wasser einer weiten Bergregion, aber schon bald nach dem Austritte aus derselben verliert sich das Wasser, nur nach heftigem, andauerndem Regen erhält es sich etwas länger. Beim Bohren von Brunnen kommt man schon in geringer Tiefe auf Wasser, aber an der Oberfläche ist es verschwunden. In früherer Zeit aber muß die ganze Strecke von einem bedeutenden Strome durchflossen worden sein, der das große, stellenweise sehr breite Flußbett aushöhlte.

Zu dem Auftreten der Trockenthäler gesellen sich noch andre Erscheinungen: in den Sümpfen des Ahaggargebirges halten sich Krokodile auf, deren oft angezweifelte Existenz durch den kühnen Reisenden de Bary mit Sicherheit bestätigt worden ist. Diese Reptilien sind Überbleibsel aus einer Zeit größerer Wasserverbreitung, die noch an einigen günstigen Punkten ihre Existenz fristen. Stellenweise finden sich Tropfsteinhöhlen und Ablagerungen von jungem Kalksinter, und in einer der letztern hat Zittel bei Kasr Dachel in der Libyschen Wüste ein Blatt einer immergrünen Eiche gefunden, eines Baumes, der heute der ganzen Wüstenregion absolut fremd, aber in den Waldgebieten des Mittelmeeres verbreitet ist. Auch die uralten rohen Skulpturen, die man im westlichen Teile der Sahara und im Atlas in Stein eingehauen gefunden hat, zeigen Abbildungen des Rindes, des Elefanten, der Giraffe und des Straußes, welche unter den jetzigen Verhältnissen in jener Gegend nicht leben können. Diese Bildwerke weisen darauf hin, daß auch der Mensch noch Zeuge des frühern bessern Zustandes gewesen sei, und vielfach ist die Behauptung aufgestellt worden, daß erst in historischer Zeit eine bedeutende Verschlechterung des Klimas eingetreten sei, ja daß noch zur Zeit der Römerherrschaft bis in die christliche Ära hinein größerer Wasserreichtum geherrscht habe. Die Belege, die man dafür beibringt, sind jedoch nicht entscheidend; daß zur Zeit der ägyptischen Pharaonen, der Karthager und selbst noch unter den römischen Kaisern bedeutende Ortschaften und selbst ansehnliche Städte in Gegenden existiert haben, welche jetzt durchaus steril sind, erklärt sich keineswegs durch eine durchgreifende klimatische Veränderung. Wir haben bei Besprechung der artesischen Brunnen gesehen, welcher Schatz unterirdischen Wassers unter dem Boden der Sahara fließt, und daß es nur der Anlage von Brunnen bedarf, um bedeutende Strecken der Wüste in fruchtbares Land zu verwandeln. Es ist also nur ein Beweis für den Rückgang der Kultur, daß die Brunnen versandet und verfallen sind, und es bedürfte nur einer fleißigen und intelligenten Bevölkerung, um diese Strecken wiederzugewinnen, wie das den Franzosen in Algerien schon in ausgedehntem Maße gelungen ist.

Es wären sehr bedeutende meteorologische Umgestaltungen, Änderung der herrschenden Windrichtung, notwendig, um eine Veränderung des Klimas der Sahara herbeizuführen, und daß das im Laufe der letzten Jahrtausende geschehen sei, dafür liegt kein hinreichender Anhaltspunkt vor; es ist im Gegenteile sehr wahrscheinlich, daß die Periode, in welcher die Sahara ein regenreiches Klima besaß, der Zeit nach zusammenfiel mit jener Epoche, in der auch Europa, wie wir wissen, ein feuchtes und kühles Klima besaß, mit der Eiszeit, in welcher die Vergletscherung der Alpen und Nordeuropas stattfand.

Wir wissen also, daß die Sahara einst fließendes Wasser in größerer Menge besaß als heute, und daß dieses Wasser auch bei der Erosion thätig gewesen sein muß; allein bis

zu welchem Grade dies der Fall war, ist eine sehr schwer zu beantwortende Frage. In erster Linie geht aus der Menge abflußloser Becken, die nach der Terrainkonfiguration auch damals existiert haben, mit Bestimmtheit hervor, daß die Regenmenge nie eine sehr große war, nie genügend, um ein vollständig ausgebildetes Flußsystem hervorzurufen. Die Erosion der Wadi, die Ablagerung des Lehmes in den Becken, kann mit Sicherheit der Erosion durch fließendes Wasser zugeschrieben werden, im übrigen aber ist die Annahme einer solchen Ursache unzulässig. In der Regel wird auch die Bildung des Flugsandes auf die Zerstörung der alten Sandsteinschichten durch Erosion zurückgeführt, und in der That werden manche beachtenswerte Gründe für diese Ansicht angeführt. Dagegen ist es nicht zweifelhaft, daß die Anhäufung des Sandes zu Dünen nur der Thätigkeit des Windes zugeschrieben werden kann.

Es bleiben zwei fundamentale charakteristische Erscheinungen, für deren Deutung wir nicht die nötigen Anhaltspunkte haben, und in deren Verständnis wir durch Zuhilfenahme der Einwirkung von fließendem Wasser nicht wesentlich gefördert werden: die Terrassenbildung und die Entstehung der Inselberge. Wir können allerdings sehr leicht einsehen, wie ein Fluß seine Ufer parallel zu seinem Laufe an beiden Gehängen terrassiert; aber selbstverständlich kann auf eine derartige Thätigkeit keine Terrasse zurückgeführt werden, welche einseitig und quer zur Hauptrichtung der Terrainneigung eine Plateaustufe begrenzt. Man könnte allenfalls als eine Parallele für den Terrassenbau der Sahara und dessen Stufenabgrenzung den Absturz des schwäbisch-fränkischen Juraplateaus anführen, wobei dann etwa die vorgeschobenen Kuppen des Hohenstaufen, der Achalm, der Wülzburg rc. den Inselbergen oder „Zeugen" der Wüste vergleichbar wären. Der Abfall des Jura ist durch die Erosion fließenden Wassers so entstanden, daß zahlreiche kleine Wasserläufe in die Ränder einschneiden und die Abnagung der schroffen und harten, über sehr leicht verwitterndem Untergrunde sich erhebenden Kalkmasse bedingen. Alle die Thäler, welche in den Kalk einschneiden und in ihrem Zusammenwirken die langgestreckte Plateaumauer erzeugen, lassen sich auch weiter abwärts in den weichern Schichten des braunen Jura verfolgen. Anders in der Sahara: hier ist nach allen Berichten der Reisenden nichts davon zu sehen, daß die Steilränder der Terrassen von zahlreichen kleinen Thaleinschnitten eingekerbt werden, welche ihre Fortsetzung in der anstoßenden Schichtfläche fänden. Die klotzigen Terrassenabfälle in ihrer jetzigen Form können nicht durch fließendes Wasser gebildet sein, und ebenso widerspricht dem ganzen Wesen einer derartigen Wirkung das Auftreten der zahlreichen auf meilenweite Entfernung vorgeschobenen Inselberge. Die charakteristische Eigentümlichkeit des fließenden Wassers ist die, Gefälle, Thalwege, zu erzeugen, und diese scheinen gerade der normalen und gewöhnlichen Entwickelung der Terrassenlandschaft in der Sahara durchaus zu fehlen. Wir werden dadurch genötigt, die Möglichkeit zu erwägen, daß die Sahara seit der mittlern Tertiärzeit, abgesehen von geringen unterbrechenden Episoden, z. B. während der Eiszeit, immer Wüste war, und daß in diesem langen Zeitraume die Thätigkeit von Temperaturveränderung und Wind in Verbindung mit sehr geringen Mengen von Niederschlägen die Oberflächengestaltung zu stande gebracht habe.

Wie in den großen Hauptzügen, so bietet uns auch in vielen Einzelheiten der Verwitterungserscheinungen die Wüste schwer zu lösende Rätsel; auf ein solches, nämlich auf die oberflächliche Verkieselung der Kalke in vielen Gegenden, macht Zittel sehr nachdrücklich aufmerksam. „Es gibt Strecken, wo der ganze Boden mit braunen Feuersteinknollen übersäet ist, welche im Innern häufig noch einen Kern von Nummulitenkalk enthalten. Es hat also die Verkieselung offenbar von außen nach innen stattgefunden; ja noch mehr: während der ersten Tagemärsche unsrer Reise fanden wir den Boden der meisten Einsenkungen von Millionen Nummulitenschalen so dicht bestreut, daß der Untergrund nicht zum Vorscheine gelangte. Sämtliche oberflächlich liegende Nummuliten waren in grauen Feuerstein umgewandelt und

erteilten dem Boden bei Sonnenschein eine eigentümlich bleigraue, fast metallisch glänzende Farbe. Scharrte man dagegen die Schälchen etwas tiefer heraus, so erwiesen sie sich vollständig unverändert. Auch hier muß ein äußeres chemisches Agens diese Umwandlung verursacht haben; da nun an derartigen Stellen auch große, lose Kalksteinblöcke mit einer festen, kieseligen Rinde überzogen waren, so liegt der Gedanke überaus nahe, daß der feine Quarzsand diese Veränderung verursacht habe." In der That kann der Kieselsäuregehalt nicht leicht aus einer andern Quelle herrühren; vermutlich hat das allgemein verbreitete Kochsalz, die „Seele der Verwitterung" in der Wüste, wie Schweinfurth sich ausdrückt, die Vermittelung bei diesem chemischen Prozesse übernommen. Der reichlich fallende Tau und die spärlichen Regen lösen Chlornatrium, und die Alkalilösung greift wieder ihrerseits, wenn auch in sehr geringem Maße, die Sandkörner an, löst Kieselsäure und bildet Alkalisilikat, in welchem der gewöhnlich wirkende Faktor für die Verkieselung des kohlensauren Kalkes gegeben ist.

Eine andre, noch weniger sicher deutbare Erscheinung ist die Bildung einer harten, festen Kruste von schwarzem Brauneisenstein an der Oberfläche der gelben Sandsteine, welche sehr allgemein aufzutreten scheint. Dieselbe ist bedeutend härter und widerstandskräftiger als der lichte Sandstein, den sie überzieht. Nachdem sie sich von diesem in ihrer ganzen Ausdehnung gelöst hat, bedecken die schwarzen Bruchstücke oft auf weite Strecken den Boden der Hammâda, die dann einem jungen Lavafelde ähneln soll. Überhaupt scheint die große Mehrzahl der Angaben über das Vorkommen von Basalten, Lava ꝛc. lediglich durch Mißdeutung dieser schwarz überrindeten Sandsteine hervorgerufen zu sein.

Gesamtwirkung der Denudation.

Die Menge der Substanzen, welche vom Wasser gelöst und fortgeführt werden, ist eine ungeheure. Eine Schätzung der Masse, welche etwa jährlich auf diesem Wege dem Meere, den Seen an Salzen mitgeteilt wird, entzieht sich zwar einer genauen Schätzung, aber wir können uns annähernd eine Vorstellung von der Großartigkeit dieser Vorgänge machen, wenn wir die Summe der Wirkungen im Verlaufe langer Perioden ins Auge fassen. Der ganze Salzgehalt des Meeres, der etwa 900 Milliarden Zentner beträgt, der Salzgehalt aller Binnenseen stammen aus dieser Quelle, alle Salz- und Gipslager, ja die ungeheure Mehrzahl aller Kalke und Dolomite verdanken ihr Material diesem Prozesse: dieses wurde aus dem Felsgerüste der Erde von fließendem Wasser ausgelaugt, dem Meere oder den Seen zugeführt und kam, sei es durch unmittelbare Ausscheidung, sei es durch die Vermittelung von Pflanzen und Tieren, zur Ablagerung. Allein trotz des enormen Betrages bleiben alle diese Wirkungen weit hinter dem zurück, was auf rein mechanischem Wege vom Wasser zerstört, fortgeführt und wieder abgelagert wird. In demselben Maße, wie im Aufbaue der Erde die kristallinischen Schiefer, die Thonschiefer, Quarzite, Sandsteine, Thone und alle die aus Gesteinszerreibsel entstandenen Gebilde über Kalk, Dolomit, Steinsalz, Gips und ihre Genossen dominieren, so herrscht die mechanische Zerstörung über die chemische vor. Aber selbst diese Anschauungsweise gibt uns noch kein hinreichend großartiges Bild von der Wirkung aller jener abtragenden, „denudierenden", Kräfte. Man hat gesagt, der Maßstab für die gesamte Wirkung der Denudation im Verlaufe der Erdgeschichte biete die Summe aller geschichteten Ablagerungen, die ja alle ihr Material auf diesem Wege erhalten haben. Allein selbst diese Auffassung reicht nicht entfernt an die Großartigkeit der Erscheinungen in der Natur hinan. Fragen wir heute, woher die Flüsse ihren Schlamm, ihren Sand, die Gerölle, die gelösten Bestandteile nehmen, so finden wir, daß bei weitem der größte Teil geschichteten Ablagerungen entnommen wird, daß sie also Materialien führen, welche schon zum zweiten-,

drittenmal oder noch öfter der Verwitterung und Fortführung unterliegen. Wenn wir uns die Bedeutung dieser Thatsache klar machen, so erkennen wir, daß die Gesamtheit aller geschichteten Gesteine sicherlich noch nicht die Hälfte des Betrages der Denudation ergibt, welche im Laufe der Erdgeschichte stattgefunden hat.

Man hat den Betrag der Denudation in einem gegebenen Zeitraume zu berechnen versucht, um daraus dann weiter zu folgern, wie lange Zeiträume notwendig waren, um das Gesamtmaterial der geschichteten Gesteine zu liefern. Aber man kann bis jetzt diesen Spekulationen kein großes Gewicht beilegen. So hat man bei einigen Flüssen die Menge des Wassers gemessen, die sie jährlich dem Meere zuführen, und ebenso das Schlammquantum, welches dabei mitgeschleppt wird. Aus beiden Faktoren läßt sich berechnen, wieviel Material der Fluß jährlich dem Gebiete entzieht, welches er entwässert, und aus der Ausdehnung dieses Gebietes ergibt sich, um wieviel das letztere jährlich durch Denudation niedriger wird. Man hat daraus abgeleitet, daß der Po sein Stromgebiet in 729 Jahren um 1 Fuß abträgt, der obere Ganges in 823 Jahren, der Hoangho in 1464 Jahren, der Rhône in 1526 Jahren, der Nil in 4723 Jahren, der Mississippi in 6000 Jahren, die Donau in 6846 Jahren; der Rhein arbeitet weit langsamer. Indem man eine Durchschnittszahl als Norm annahm, hat man gefunden, daß in wenig mehr als 3000 Jahren die ganze Kontinentalfläche der Erde im Durchschnitte um 1 Fuß niedriger wird. Dieses Resultat ist jedoch aus folgenden Gründen ungenau: Zunächst ist beim Ganges nur der Oberlauf in Rechnung gezogen, wodurch die Zahl viel zu klein wird; im Oberlaufe, wo der Strom in raschem Laufe durch das Berggebiet des Himalaja eilt, zerstört er verhältnismäßig sehr große Massen von Gestein, und seine kräftig treibenden Fluten reißen das Zerreibsel mit Leichtigkeit fort. Im untern Laufe, in der bengalischen Tiefebene, dagegen wälzen sich die Wellen träge hin, sie erodieren wenig, sie lagern eher von dem aus höhern Teilen mitgebrachten Materiale etwas ab, bevor das Meer erreicht wird. Ferner wird in jener Berechnung ein ganz abnorm stark zerstörender Fluß wie der Po, der ein verschwindend kleines Stückchen Land entwässert, als gleichwertig mit dem Mississippi oder dem Nil angenommen, und endlich ist übersehen, daß der Hoangho als derjenige unter allen großen Strömen der Erde bekannt ist, welcher weitaus die größten Schlammmassen führt.

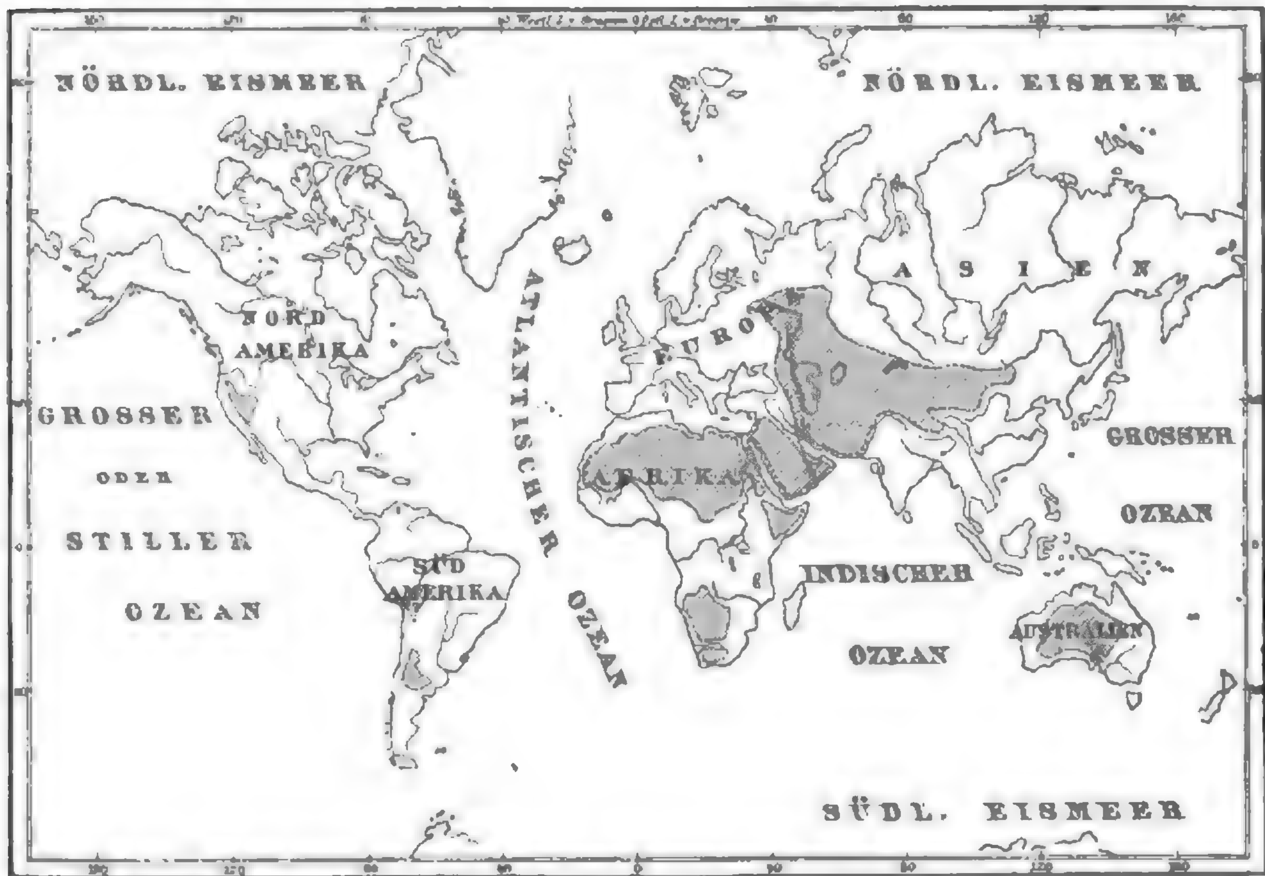
Alle diese Betrachtungen zeigen, daß die Durchschnittszahl von 3000 Jahren eine viel zu geringe ist; aber noch wichtiger ist der Umstand, daß ungeheure Strecken der Erdoberfläche gar keine Flüsse und mithin kein Gesteinszerreibsel ins Meer schicken; das riesige Gebiet der abflußlosen Seen in Osteuropa und im westlichen und mittlern Asien, fast ganz Nordafrika[1] und Arabien, ein bedeutendes Gebiet von Nordamerika zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge, endlich der größere Teil von Neuholland gehören hierher (s. Abbildung, S. 539). Auf der andern Seite ist bei den Berechnungen die Menge der im Wasser gelösten Bestandteile unbeachtet geblieben, während die Wirkung der fortwährend an den Küsten nagenden Brandung des Meeres in ihrem Betrage nicht entfernt geschätzt werden kann, obwohl behauptet werden kann, daß derselbe hinter demjenigen der fließenden Wasser sehr weit zurückbleiben muß.

Alle die Zahlen, welche man für den jährlichen Massenverlust der Festländer durch Denudation angibt, entbehren demnach der Genauigkeit, und darum sind auch die Kombinationen über die Zeit höchst problematisch, welche erforderlich wäre, um alle Festländer bis zum Meeresniveau niederzuhobeln, wenn durch tektonische Änderungen kein Ersatz geschaffen würde. Dieselben müßten selbst in dem Falle als unrichtig gelten, wenn die Zahlen für die jetzt stattfindende Abtragung annähernd genau wären, da natürlich mit der zunehmenden

[1] Der Schlamm des Nils stammt nicht aus dem nördlichen, sondern aus dem zentralen Afrika.

Erniedrigung der Kontinente und der dadurch bedingten Abnahme des Gefälles der Flüsse die Zerstörung sehr verlangsamt würde.

Schon bei den bisher besprochenen Kombinationen war die Basis eine sehr unsichere und das Resultat vollständig unzuverlässig; in vielfach verstärktem Maße muß das von jenen Versuchen gelten, aus der Gesamtmenge der auf der Erde abgelagerten Sedimente die Dauer der Zeit zu berechnen, welche seit dem ersten Beginne der Ablagerung geschichteter Gesteinsmassen verlaufen ist. Wir kennen weder die Menge des Materiales, das dem Meere



Die Gebiete der Erde ohne Abfluß nach dem Meere. Vgl. Text, S. 538.

jährlich zugeführt wird, noch die durchschnittliche Mächtigkeit der Sedimentärgesteine auf den Festländern. Über die Dicke derselben in der Mitte der großen ozeanischen Becken sind wir vollends ohne jeden positiven Anhaltspunkt. Die einen nehmen an, daß die Masse der Sedimente in der Mitte der Meere im großen und ganzen dieselbe sei wie in den kontinentalen Regionen, während von andrer Seite behauptet wird, daß die geographische Lage der großen Meeresbecken sich von allem Anfange gleichgeblieben sei und in der Mitte derselben nur sehr unbedeutende Mengen von festen Teilen zum Absatze gekommen seien. Dazu kommt noch, daß wir nicht wissen, welchen Einfluß der Umstand ausübt, daß fortwährend Schichtgesteine zerstört werden und ihr Material neu abgelagert wird, und wir werden daher jeden Versuch, aus vier unbekannten Größen eine fünfte unbekannte zu berechnen, als unnütz und die angeblichen Resultate als illusorisch betrachten müssen. Als das einzige sichere Resultat ergibt sich ein überaus hohes Alter, eine ungeheuer lange Dauer der Abtragungs- und Ablagerungsvorgänge.

III. Gesteinsbildung.

7. Schichtgesteine.

Inhalt: Bildung verschiedener Arten von Schichtgesteinen. — Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit. — Ausscheidung von Kalk. — Kalkbildung durch Mollusken, Stachelhäuter und Korallen. — Entstehung der Korallenriffe und Atolle. — Kalkbildung durch Foraminiferen. Weißer Tiefseeschlamm. — Roter Tiefseethon. — Der Dolomit.

Bildung verschiedener Arten von Schichtgesteinen.

Es ist oft hervorgehoben worden, daß der gesteigerte Sinn für landschaftliche Schönheit und die Freude an ihr eine Eigentümlichkeit der neuern Zeit sind. Vergeblich sucht man in den Schriftstellern des klassischen Altertumes nach jenen begeisterten Schilderungen der Natur, welche bei den Neuern uns überall und oft im Übermaße entgegentreten. Die Ursachen dieser Erscheinung mögen sehr mannigfaltige sein, es mögen der Eintritt der germanischen Rassen unter die Kulturnationen und der Einfluß derselben auf die geistige Gesamtentwickelung der Menschheit bedeutenden Einfluß in dieser Richtung ausgeübt haben; jedenfalls aber bildet einen der wesentlichsten Gründe der Umstand, daß mit dem Wiederaufleben der Wissenschaften am Schlusse des Mittelalters die Natur mehr und mehr Gegenstand eingehender Studien wurde. Die gewaltige Entwickelung der Naturforschung in der Neuzeit mußte eine solche Wirkung ausüben, weil die Aufmerksamkeit mehr in diese Richtung gelenkt war, und weil mit der Kenntnis der Natur auch das Verständnis für dieselbe wuchs.

Es verhält sich mit der Anschauung einer Landschaft wie mit derjenigen eines Kunstwerkes, das der Kenner mit weit größerm Genusse betrachtet als der Laie; auch die Schönheit der Natur ist dem Kundigen vor allen erschlossen. Namentlich der Geolog, der den Bau der Erdrinde aus ihren Oberflächenerscheinungen zu entziffern bestrebt ist, der jede Linie im Relief eines Berges mit sorgsamem Eifer verfolgt und deutet, ist hier vor andern bevorzugt, denn bei ihm verbindet sich die Freude an schönen und großartigen Szenerien mit der Befriedigung, den Gegenstand seiner Bewunderung verstehen und sich bewußt werden zu können, welche Materialien zur Bildung von Berg und Thal zusammentreten, und welche Kräfte dieselben zu einem harmonischen Bilde modellieren.

Die stete Gewohnheit, solche Verhältnisse zu beobachten, schärft den Blick, und bald treten dem Geologen hundert feine Züge im Aufbaue einer Landschaft entgegen, die dem Uneingeweihten entgehen; insbesondere übt sich das Auge, um eine Eigentümlichkeit, welche die Anordnung zahlloser Gesteine bald mehr, bald minder augenfällig beherrscht, um die Schichtung sofort zu erfassen, wenn sie auch nur schwach ausgeprägt erscheint.

Wer immer mit einiger Aufmerksamkeit Gesteine in der Natur beobachtet hat, dem ist schon da und dort aufgefallen, daß Kalke, Sandsteine, Schiefer ꝛc. so angeordnet waren, daß sie ihrer ganzen Masse nach durch parallel laufende Klüfte in weithin sich ausdehnende Bänke oder Schichten geteilt waren. In vielen Fällen ist die Erscheinung eine außerordentlich deutliche (s. untenstehende Abbildung), in andern dagegen tritt sie mehr zurück und ist namentlich, wenn viel Vegetation vorhanden ist, für den Ungeübten nicht gleich auf den ersten Blick zu bemerken; an Felsmassen, welche die Schichtung kaum erkennen lassen, verrät sie sich oft dem Beobachter durch das Auftreten paralleler Streifen von Vegetation oder im Hochgebirge von Schnee (s. die Abbildung des Monte Cristallo, S. 542).



Cañon von Lodore im Uintagebirge, Nordamerika (nach Clarence King).

Die Schichtung ist charakteristisch für alle aus dem Wasser abgesetzten Gesteine; sie bezeichnet uns die aufeinander folgenden Lagen von Material, die sich niedergeschlagen haben. Denken wir uns z. B. einen See, in welchen ein Fluß oder Bach mündet, so wird dieser zerriebene Teile der Gesteine, durch welche er fließt, mit sich bringen und dieselben in dem See zu Boden sinken lassen, wo das Wasser nicht bewegt ist und daher die suspendierten Teile nicht mehr schwebend erhalten kann. Der Fluß wird im Sommer bei trocknem Wetter etwa nur feinen Schlamm führen und diesen am Grunde des Wasserbeckens niederfallen lassen; tritt aber nach starken Regengüssen eine Schwellung ein, so wird das kräftiger strömende Wasser auch Sand mitzureißen im stande sein. Wir werden dann über jener ersten thonigen Schicht eine zweite von thonigem Sande finden, über welcher, wenn der Fluß wieder infolge schöner Witterung auf niedrigen Stand zurückgegangen ist, eine zweite Thonschicht folgt. Im Frühlinge, zur Zeit der Schneeschmelze,



Der Monte Cristallo bei Schluderbach in Tirol. Vgl. Text, S. 541.

werden größere Sandmassen und wohl auch Gerölle beigeführt, und so sehen wir ein System von Schichten aus wechselndem Materiale entstehen. Ähnliche Bildungen gehen überall unter Wasser vor sich, wo dieses nicht so starke Strömung oder sonstige Bewegung besitzt, daß keine festen Teile aus ihm niedersinken können.

Die Bildung von Schichtung bei dem aus Wasser abgesetzten Materiale, wie wir sie eben geschildert haben, ist aber nicht an einen Wechsel in der Beschaffenheit der niedersinkenden Stoffe gebunden; auch wenn diese die gleichen bleiben, wird zeitweilige Unterbrechung oder nur Verlangsamung der Zufuhr die Bildung horizontaler Fugen und damit die Entwickelung einer Schichtung bedingen. Da der Boden des Meeres und der großen Seen der Hauptsache nach horizontal ist oder nur eine überaus schwache, dem Auge auf



Vulkanischer Tuff, auf geneigter Unterlage abgesetzt, aus dem Yellowstonethal in Nordamerika (nach Heyden).

kurze Strecken nicht sichtbare Neigung hat, so ist auch die ursprüngliche Lage der Schichten fast immer eine horizontale und nur unter gewissen Verhältnissen schon ursprünglich unter einem Winkel geneigt. Wo ein Bach Gerölle oder groben Sand in einen See mit steilen Ufern ergießt oder aus einem hohen Seitenthale in ein breites Hauptthal ausschüttet, oder wo sonst infolge lokaler Verhältnisse Material vom Wasser auf einer schrägen Unterlage abgelagert wird, da werden auch die Schichten geneigt sein (s. obenstehende Abbildung); doch gehören Vorkommnisse dieser Art namentlich aus sehr alten Zeiten zu den seltenen Ausnahmen. Um so häufiger kommt es dagegen vor, daß ursprünglich horizontale Schichten in späterer Zeit durch die mit der Gebirgsbildung verbundenen Vorgänge aufgerichtet werden und nun eine mehr oder weniger geneigte Lage einnehmen.

In ungeheuern Massen bedecken geschichtete Gesteine (Flözgesteine, Sedimentärgesteine) den größern Teil der festen Erdoberfläche, und mannigfach ist ihr Charakter. Schwebende Teile, Thonschlamm, Sand, Gerölle, vulkanische Asche sinken im Meere, in Seen oder Flüssen zu Boden und bilden mechanische Absatzgesteine, während kohlensaurer Kalk, Gips, Kochsalz und andre im Wasser gelöste Substanzen auskristallisieren oder sich als chemisch gebildete Sedimente niederschlagen. Und während so die unorganischen Kräfte der Natur an der Arbeit sind, diese minerogenen Gebilde abzulagern, liefern Tier- und Pflanzenreich in reichlichster Weise das Material zu den organogenen Gesteinen. Die

unscheinbaren Pflänzchen der Torfmoore, die üppig wuchernde Vegetation tropischer Urwälder und Mangrovesümpfe, zusammengeschwemmte Treibhölzer und niedersinkende Wasserpflanzen wandeln sich zu Mineralkohlen, zu bituminösen Substanzen und Petroleum um, die kalkigen Schalen und Gerüste zahlloser Tiere häufen sich zu ungeheuern Massen zusammen, ebenso wie die kieseligen Teile niedrig organisierter Lebewesen in gewissen Teilen des Ozeanes den Boden bedecken.

Der Hauptbildungsraum für fast alle diese Vorkommnisse ist der Ozean, und ihm verdankt die große Mehrzahl aller Sedimentgesteine ihre Entstehung. Glücklicherweise haben die letzten Jahre eine ungeahnte Menge von Aufschlüssen über die Vorgänge in der Tiefe des Meeres und die Beschaffenheit seines Bodens zu Tage gebracht, so daß wir uns jetzt an der Hand dieser Beobachtungen über viele Erscheinungen Rechenschaft geben können, die früher unklar waren. Die Flüsse führen thonigen oder kalkigen Schlamm, Sand und Gerölle; je weiter ihr Lauf ist, desto feiner werden die gröbern Bestandteile durch Abrollung aneinander und an dem Boden zerrieben, so daß größere Gerölle nur durch kleinere Wasserläufe, die aus gebirgigen Gegenden kommen, ins Meer gelangen. Ebenso verhält es sich mit dem Kalkschlamme, der in der Regel vom Wasser des Flusses aufgelöst wird, ehe er das Meer erreicht. Dieselben Materialien wie aus den Flüssen erhält das Meer durch die Einwirkung der Brandung auf die Küste; die Wogen zerstören deren Gesteine, und das Zerreibsel liefert Material für die Schichtbildung.

In der Regel tritt durch die Bewegung des Meerwassers eine Sonderung der beigeführten Teile ein; Gerölle können nicht weit fortgeschafft werden, sie bilden ganz nahe der Stelle, an der sie ins Meer gelangen, Bänke, und aus diesen entsteht Konglomerat, wenn die einzelnen Rollsteine durch ein Bindemittel zu einer festen Masse vereinigt werden. Als Breccie bezeichnet man dagegen Gebilde, die aus eckigen, miteinander verkitteten Stücken zusammengesetzt sind.

Auch der Sand entfernt sich nicht weit von der Küste, er bildet hier bedeutende Ablagerungen. Dasselbe war auch in frühern Perioden der Erde der Fall, und vielfach haben sich aus jenen ältern Zeiten Schichten von losem Sande erhalten; weit häufiger aber erhärten dieselben allmählich zu Sandstein, den man in thonigen Sandstein, Kalksandstein, Quarzsandstein (Quarzit) unterscheidet, je nach der Natur des Bindemittels, welches die Körner zusammenhält.

Weiter als der Sand wird der Thonschlamm ins Meer getrieben; er bildet das Material für die Schichten von plastischem Thone, die wir in vielen und namentlich in jüngern Formationen finden, und die dann teilweise durch die Wirkung von Druck Schieferstruktur annehmen und unter Ausbildung mikroskopischer Kristallelemente zu Schieferthonen und Thonschiefern erhärten. Wenn auch der fein zerteilte Thonschlamm auf größere Entfernung von der Küste fortgespült wird als Sand oder Gerölle, so geht er doch nicht bis in die Mitte der Meeresbecken, sondern bildet um die Kontinente und kontinentalen Inseln einen verhältnismäßig schmalen Gürtel, welcher die Breite von 40 geogr. Meilen in der Regel nicht erreicht. An seine Stelle tritt nur da, wo stark thätige Vulkane und deren massenhafte lose Auswurfsprodukte am Meeresufer auftreten, ein Haufwerk von Bimssteinen, vulkanischer Asche &c., welche das Material zur Bildung vulkanischer Tuffe abgeben.

Gerölle, Konglomerate und Breccien, Sand und Sandsteine, Thon und seine Abänderungen, vulkanische Tuffe sind die hauptsächlichsten minerogenen Gesteine, welche durch Zusammenschwemmung vom Wasser fortbewegter fester Teile entstehen, sogenannte mechanische Sedimente oder klastische (von κλαίω [klaio], d. h. ich zerbreche) Gesteine. Allerdings sind es nicht die einzigen; neben ihnen treten noch andre Felsarten von ähnlicher Entstehung auf, die jedoch von weit geringerer Wichtigkeit sind. Nur auf eine Frage müssen

wir noch etwas näher eingehen, nämlich ob sich Kalksteine auf diesem Wege bilden können. Wir haben gesehen, daß die meisten Flüsse den Kalkschlamm, den sie etwa in ihrem Oberlaufe führen, in ihrem Unterlaufe auflösen, ehe sie das Meer erreichen, oder daß, wenn dies nicht vollständig der Fall sein sollte, die Reste vom Meerwasser gelöst werden. Trotzdem sind unter ganz abnormen Verhältnissen Ausnahmen in dieser Beziehung möglich. Wenn ein Fluß, dessen ganzes Gebiet überaus kalkreich ist, nicht ins offene Meer, sondern in eine beschränkte Bucht, die nur wenig Verbindung nach außen hat, seine mit Kalkschlamm beladenen Fluten ergießt, so kann hier dieses Material in so reichlicher Menge vorhanden sein, daß es nicht gelöst wird, sondern sich absetzt und später zu Kalkstein erhärtet; es ist z. B. aus mehrfachen Gründen, die an einem andern Orte besprochen werden sollen, sehr wahrscheinlich, daß die berühmten lithographischen Schiefer von Solnhofen einem derartigen Vorgange ihre Entstehung verdanken.

Weit häufiger als im Meere wird dieser Vorgang in Binnenseen stattfinden, deren beschränkte Wassermenge oft nicht im stande ist, die Menge des von einmündenden Flüssen oder Bächen mitgebrachten Kalkes zu lösen; derselbe schlägt sich als ein feiner, kreideartiger Schlamm am Grunde nieder. Ziemlich häufig finden wir auch in ältern Ablagerungen feinkörnige, zarte, oft leicht zerreibliche Kalkgesteine mit Süßwasserkonchylien, die offenbar in dieser Weise gebildet sind.

Bildung von Steinsalz, Gips und Anhydrit.

Während mechanische Ablagerungen sich im Meere in großer Menge bilden, ist die Rolle, welche die direkte Auskristallisierung aus dem Wasser und chemische Ausscheidung daselbst spielen, eine sehr unbedeutende; nichts kann die geringe Bedeutung derselben besser anschaulich machen als der Umstand, daß die großartigen Tiefseeuntersuchungen der Neuzeit im offenen Meere nicht einen einzigen Punkt entdecken konnten, an welchem der Boden von einem derartigen Absatze bedeckt gewesen wäre. Um diesen Gegenstand beurteilen zu können, müssen wir zunächst die Zusammensetzung des Meerwassers kennen lernen und erfahren, welche Bestandteile in demselben gelöst sind.

Das Meerwasser ist bekanntlich reich an verschiedenen Salzen; man kann rechnen, daß es an solchen in 1 kg über 34 g (34,77 im Mittel aus mehreren Analysen) enthält, welche sich in folgender Weise auf einzelne Substanzen verteilen:

Kochsalz (Chlornatrium)	27,18	Chlorkalium	0,61
Chlormagnesium	3,35	Brommagnesium	0,05
Schwefelsaure Magnesia	2,27	Doppeltkohlensaurer Kalk	0,04
Schwefelsaurer Kalk (Gips)	1,27		34,77

Außerdem enthält es Spuren von verschiedenen andern Substanzen.

Von dieser durchschnittlichen Zusammensetzung kommen allerdings Abweichungen vor; an der Mündung von Flüssen mischt sich das leichtere Süßwasser, welches ausmündet, verhältnismäßig langsam mit dem schweren Salzwasser, es schwimmt auf nicht unbeträchtliche Strecken obenauf, so daß wir dann eine Oberflächenschicht von schwächer gesalzenem Wasser finden. Ein ähnliches Verhältnis findet in den um den Pol gelegenen Gegenden bisweilen statt, wenn zahlreiche Eisberge schmelzen, die ebenfalls eine Verdünnung der obersten Wasserschicht hervorbringen. Anderseits findet in heißen Gegenden eine starke Verdunstung von Wasser an der Meeresoberfläche statt, und dann ist hier der Salzgehalt etwas größer. Im großen sind aber diese Abweichungen überaus geringfügig, so daß wir vor der merkwürdigen und höchst bedeutungsvollen Thatsache stehen, daß bis auf ganz minimale Abweichungen die Zusammensetzung des Wassers im offenen Meere überall dieselbe

ist und zwar infolge der fortwährenden Wasserzirkulation im Ozeane sowie der gesetzmäßig stattfindenden Diffusion, die eine Ausgleichung des Salzgehaltes bedingt.

Größere Abweichungen kommen natürlich in Binnenmeeren vor, welche nur durch eine enge Wasserstraße nach außen kommunizieren, wie die Ostsee, das Mittelmeer, das Schwarze Meer, das Rote Meer ꝛc. Das letztere erhält fast gar kein süßes Wasser durch Flüsse, dagegen ist die Verdampfung an der Oberfläche infolge des heißen Klimas eine außerordentlich starke, und deshalb findet sich hier der größte Gehalt an Salz, der bisher in irgend einem Teile des Ozeanes beobachtet worden ist: er beläuft sich auf mehr als 40 g in 1 kg Wasser (zwei Bestimmungen ergaben 43,15 und 41,81). Auch im Mittelländischen Meere beträgt die Verdunstung mehr als die Zufuhr von süßem Wasser, obwohl es eine Reihe sehr bedeutender Flüsse, den Nil, den Po, den Rhône, den Ebro und viele andre, aufnimmt; infolgedessen ist auch hier der Gehalt an Salzen höher als im offenen Ozeane. Entgegengesetzt verhält es sich mit der Ostsee und dem Schwarzen Meere, welche so bedeutende Zuflüsse erhalten, daß ihr Wasser sehr schwach gesalzen ist und sich in dieser Beziehung sehr weit von der Normalzusammensetzung entfernt.

Denken wir uns das ganze Wasser des Meeres verdampft, so würde eine Salzlage von durchschnittlich etwa 100 m Dicke den Boden bedecken; aber unter den jetzigen Verhältnissen ist die Wassermenge weit mehr als genügend, um alles Salz gelöst zu erhalten. Selbst wenn wir die Zusammensetzung des Wassers aus dem Roten Meere betrachten, ergibt sich die absolute Unmöglichkeit, daß im offenen Meere irgend welche von den gelösten Stoffen direkt auskristallisieren; im Gegenteile, das Meer ist im stande, eine sehr viel größere Menge derselben aufzunehmen. Wenn aber auch die Annahme einer Gesteinsbildung auf diesem Wege im freien Ozeane als allen Gesetzen der Chemie und Physik ebensowohl wie allen direkten Beobachtungen widersprechend ausgeschlossen ist, so können doch unter Umständen in der Nähe der Küste und namentlich in beschränkten Buchten Verhältnisse eintreten, unter welchen sich solche Vorgänge abspielen. Für die Beurteilung der Art und Weise, in welcher sich die festen Substanzen aus verdampfendem Meerwasser ausscheiden, sind die Versuche wichtig, die von Uziglio vor mehr als 30 Jahren angestellt wurden: er überließ Wasser des Mittelländischen Meeres in seinem Laboratorium allmählicher Verdunstung und bestimmte die Reihenfolge, in welcher die verschiedenen Salze auskristallisierten. Die ersten Ausscheidungen waren geringe Mengen von Eisenoxyd, dann von kohlensaurem Kalke und kohlensaurer Magnesia; nachdem etwa $^4/_5$ der ursprünglichen Flüssigkeitsmenge verdunstet waren, schieden sich viel Gips und der Rest des kohlensauren Kalkes aus, dann folgte im weitern Verlaufe noch eine geringe Menge Gips, die Hauptmasse des Kochsalzes mit sehr wenig Chlormagnesium, Bromnatrium und schwefelsaurer Magnesia. Der Versuch wurde nun unterbrochen, und es blieb eine „Mutterlauge" zurück, welche nur noch etwa $^1/_{62}$ der verwendeten Wassermenge ausmachte, aber noch $^1/_8$ der ganzen Salzmenge gelöst enthielt; kohlensaurer Kalk und Gips waren jedoch ganz daraus verschwunden, Kochsalz (Chlornatrium) machte nicht mehr ganz $^1/_3$ des zurückbleibenden Salzes aus, während alle leicht löslichen Salze (Chlormagnesium, Chlorkalium, Bromnatrium, schwefelsaure Magnesia) verhältnismäßig sehr stark vertreten waren.

Dieser Versuch stellt insofern ein abnormes Verhältnis dar, als zu demselben das sehr kalkreiche Wasser des Mittelmeeres gewählt wurde; infolgedessen schied sich zuerst kohlensaurer Kalk aus, während aus normalem Meerwasser, wie die Versuche von G. Bischoff zeigen, zuerst Gips und erst viel später kohlensaurer Kalk abgeschieden wird. Von dieser einen Abweichung abgesehen, müssen ähnliche Verhältnisse wie bei dem Experimente von Uziglio auch in der Natur eintreten, wenn durch irgend einen Vorgang eine Bucht vom Meere abgetrennt wird, die keine oder nur so wenige Zuflüsse von süßem Wasser erhält,

daß eine allmähliche Austrocknung erfolgt. Es werden sich dann die Salze in der angegebenen Reihenfolge niederschlagen, und es kann sich auch ein solcher Absatz unter besonders günstigen Verhältnissen bis in spätere geologische Perioden erhalten.

Ein solcher Vorgang wird aber nie sehr beträchtliche Massen von Salzen ergeben und ist jedenfalls ganz unzureichend, um so ungeheure Anhäufungen, namentlich von Kochsalz, zu erklären, wie sie viele unsrer Bergwerke aufgeschlossen haben. Man braucht sich nur der überraschenden Resultate zu erinnern, welche die Untersuchungen der gewaltigen unter der Norddeutschen Ebene gelegenen Steinsalzlager ergaben; das Bohrloch von Sperenberg bei Berlin hat eine 1182 m dicke Lage von Steinsalz durchsenkt, ohne die untere Grenze desselben zu treffen, und es ist klar, daß einfach durch Verdampfen einer beschränkten Wasserfläche eine solche Anhäufung von Salzen nicht stattfinden kann. Es müssen besondere Umstände zusammentreffen, um die Entstehung eines solchen Vorkommens zu ermöglichen. K. E. v. Baer, nicht nur einer der bedeutendsten, sondern auch einer der vielseitigsten Forscher unsers Jahrhunderts, hat uns in seinen „Kaspischen Studien" ein äußerst merkwürdiges Verhältnis geschildert, welches den Weg zeigt, den die Natur bei der Bildung der gewaltigen Steinsalzmasse eingeschlagen hat. Am östlichen Ufer des Kaspischen Meeres befindet sich eine ausgedehnte Bucht, der Kara Bugas, ein weites Becken von etwa 3000 nautischen Quadratmeilen Oberfläche, welches durch eine Barre vom Kaspischen Meere getrennt ist, so daß nur durch eine schmale und seichte Öffnung eine Verbindung hergestellt wird. In den Kara Bugas ergießt sich kein Fluß und kein Bach, er liegt rings umgeben von der regen- und wasserlosen Turkmenensteppe, deren trockne Winde über seine Oberfläche hinstreichen und eine sehr starke Verdunstung hervorrufen. Ohne Zweifel wäre das Becken verhältnismäßig rasch ausgetrocknet, wenn nicht ununterbrochen vom offenen Kaspischen Meere neues Wasser einströmen und den Verlust ersetzen würde. Aber auch das nachströmende Kaspiwasser verdunstet, nur sein Gehalt an gelösten Substanzen bleibt dem Kara Bugas, der infolgedessen schon 29,5 Prozent Salze in seinem Wasser enthält und an seinem Boden fortwährend Steinsalz und Gips auskristallisiert. Der Kara Bugas bildet eine riesige Salzpfanne, in welcher ununterbrochen Wasser des Kaspischen Meeres eingedampft wird, und die sich schließlich ganz mit Salzen füllen wird[1]. Auf diesem Wege, dessen Bedeutung neuerdings namentlich Ochsenius hervorgehoben hat, können Salzlager von kolossaler Mächtigkeit und Ausdehnung gebildet werden; wäre z. B. am südlichen Ende des Roten Meeres, an der Straße Bab el Mandeb, ein unterseeischer Querriegel vorhanden, der nur seichtes Wasser über sich hätte, so würde endlich das ganze Becken zu einer ungeheuern Salzformation werden.

Durch derartige Vorgänge werden Gesteine unter ganz bestimmten lokalen Verhältnissen unmittelbar aus dem Meerwasser auskristallisieren können. Kalksteine entstehen auf diese Weise jedoch nur im allerbeschränktesten Maße, aber um so großartiger sind die Massen von schwefelsaurem Kalke, welche sich entweder in chemischer Verbindung mit Wasser als Gips oder ohne solches als Anhydrit ablagern. Der reine Gips bildet meist weiße, kristallinische Massen von körniger oder faseriger Struktur, sehr häufig ist er jedoch durch fremde Bestandteile verunreinigt. Er ist so weich, daß man ihn mit dem Fingernagel ritzen kann, wodurch er sich von dem merklich härtern Anhydrit leicht unterscheidet, der auch höheres spezifisches Gewicht besitzt.

Obwohl es keinem Zweifel unterliegen kann, daß sowohl Gips als Anhydrit sich größtenteils aus dem Meere ausgeschieden haben, so bietet doch die Erklärung des Verhältnisses

[1] Nach neuern Untersuchungen herrscht allerdings dieses Verhältnis nicht in voller Reinheit, da die Bedeutung einer mächtigen Unterströmung gesalzenen Wassers, die aus dem Kara Bugas in den Kaspisee geht, wesentlich unterschätzt wurde.

beider zu einander und die Feststellung der Bedingungen, unter welchen das eine und unter welchen das andre Gestein sich gebildet hat, Schwierigkeiten. Unter den gewöhnlichen Bedingungen scheidet sich der schwefelsaure Kalk als Gips aus wässeriger Lösung aus, während Anhydrit in den Laboratorien bis jetzt nur unter Verhältnissen hergestellt worden ist, wie wir sie in der Natur gewöhnlich nicht voraussetzen können; er kristallisiert z. B. aus einer gesättigten Kochsalzlösung bei einer Temperaturvon 125 bis 130°. Diese Schwierigkeit hat schon eine Menge zum Teile sehr sonderbarer Hypothesen über die Anhydritbildung hervorgerufen, und wenn wir auch mit Sicherheit sagen können, daß ein großer Teil derselben unmöglich ist, daß z. B. der Anhydrit nicht ein vulkanisches Ausbruchsprodukt sein kann, so ist doch eine richtige Lösung der Frage noch nicht vorhanden. Als sehr wahrscheinlich kann die Vermutung bezeichnet werden, daß bei bedeutendem Drucke und aus einer sehr konzentrierten Kochsalzlösung, d. h. unter Verhältnissen, wie sie in einem verdampfenden Wasserbecken von einiger Tiefe vorkommen, der schwefelsaure Kalk als Anhydrit auskristallisiert; doch können hierüber nur direkte Experimente Aufschluß geben, die noch nicht gemacht worden sind.

Unmittelbar an der Oberfläche der Erde, „am Tage", wie der Bergmann sagt, kommt Anhydrit fast gar nicht vor, sondern nur Gips; aber wenn man mächtige Lager des Gipses in die Tiefe verfolgt, so findet man sehr häufig, daß hier an seiner Stelle Anhydrit vorhanden ist. Es erklärt sich dies daraus, daß der Anhydrit bei Zutritt von Wasser sich in Gips umwandelt, ein Vorgang der Gesteinsveränderung, der von sehr auffallenden Erscheinungen begleitet und auch in praktischer Beziehung von großer Wichtigkeit ist. Indem der Anhydrit Wasser aufnimmt und zu Gips wird, erleidet er eine sehr bedeutende Volumvermehrung, er quillt oder bläht sich um mehr als die Hälfte des frühern räumlichen Umfanges auf. Wenn nun dieser Prozeß sich auf größere Massen erstreckt, so übt die damit verbundene Auftreibung einen außerordentlich starken Druck auf die umgebenden Gesteine aus, die Lagerung ganzer Gebirgsteile wird dadurch im höchsten Grade gestört, unregelmäßig und verworren, und Stollen und Schächte von Bergwerken, die durch Anhydritlager gehen, werden oft vollständig zerquetscht. In der Nähe von Heilbronn in Württemberg wurde vor etwa 20 Jahren ein Eisenbahntunnel getrieben, welcher auf Anhydrit, teils in ganzen Schichten auftretend, teils in Nestern oder in feinen Einsprengungen in dunklem Mergel enthalten, traf. Die Umwandlung erfolgte teilweise schon während des Baues, der das Gestein dem Einflusse von Luft und Wasser erschloß; einzelne Bänke hoben sich um 3 Fuß, andre wurden mit heftigem Knalle und unter Wegschleuderung von Trümmern zersprengt, Balken, die zur Auskleidung dienten, wurden zerquetscht und in späterer Zeit noch durch ein Fortdauern des Prozesses die Mauerung des Tunnels zerdrückt und verwüstet.

Steinsalz tritt entschieden seltener in der Natur auf als Gips und Anhydrit, da es in Wasser weit leichter löslich ist. Infolgedessen wird in sehr vielen Fällen die Konzentration eindampfender Meeresteile nur so weit gehen, daß der schwefelsaure Kalk sich ausscheidet und das weitere Fortschreiten bis zur Auskristallierung des Chlornatriums durch irgend eine geologische Veränderung unterbrochen wird; anderseits wird schon abgesetztes Steinsalz in einer spätern Periode leichter wieder aufgelöst, wenn es nicht durch eine darüber abgelagerte Decke von wasserdichten Gesteinen, z. B. von Thon, vor der Zerstörung geschützt wird. Noch weit mehr wirken diese Umstände hindernd auf das Vorkommen von Massen derjenigen Salze des Meerwassers, die noch leichter löslich sind, des schwefelsauren Magnesiums, des Chlormagnesiums und des Chlorkaliums; zur Ablagerung dieser „Mutterlaugensalze" kam es nur in sehr seltenen Fällen, so daß wir sehr wenige Vorkommnisse dieser Art kennen. Das wichtigste unter ihnen ist dasjenige von Staßfurt bei Magdeburg, neben welchem noch das von Kalusz am Karpatenrande Galiziens zu nennen ist. Hier

kommen die genannten Substanzen in verschiedener Art, zum Teile zu komplizierten Verbindungen gruppiert, vor und zwar in der Weise, daß sie über dem Steinsalze liegen, wie das eine notwendige Folge ihrer Bildung ist; die zuerst auskristallisierten schwerer löslichen Substanzen müssen natürlich am Boden des eindampfenden Meeresbeckens sich absetzen, während die später niederfallenden leicht löslichen Körper ein höheres Niveau einnehmen. Diese Lagerstätten zeigen uns dieselbe Erscheinung wie Uziglios Abdampfschale, nur in riesig vergrößertem Maßstabe.

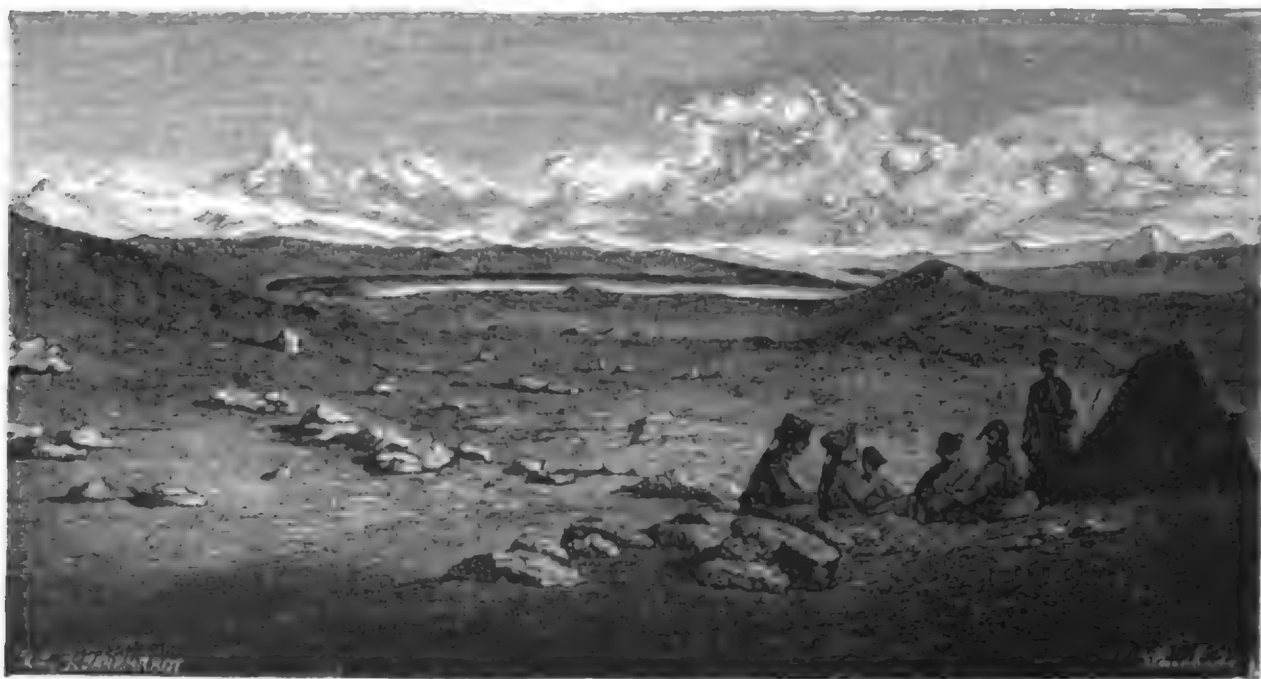
Rasch verdampfende tiefe Buchten, die mit dem Meere nur in geringer Verbindung stehen, zu denen aber über eine Barre hinweg ein steter Nachfluß von Salzwasser stattfindet, haben sicher die meisten und großartigsten Salzlagerstätten geliefert; aber sie sind es nicht allein, welche Anlaß zu solchen Bildungen geben, solche können, wenn auch in beschränktem Maße, unter andern Verhältnissen entstehen. Es ist bekannt, daß alle Quellen und Flüsse mineralische Teile gelöst enthalten. Die Zusammensetzung derselben ist allerdings den größten Schwankungen unterworfen je nach den Gesteinen, aus welchen sie ihren Gehalt an solchen Substanzen ausgelaugt haben. In den Flüssen ist die gesamte Menge der fixen Bestandteile weit geringer als im Meere, und unter ihnen nimmt fast immer der kohlensaure Kalk die erste Stelle ein[1]; außerdem sind in geringen Mengen andre Salze verschiedener Art vorhanden: schwefelsaurer Kalk, Chlornatrium, Chlorkalium, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Natron, schwefelsaure Magnesia ꝛc.

Es ist natürlich, daß in der Zusammensetzung der Flußwasser bei weitem nicht dieselbe Regelmäßigkeit herrscht, wie wir sie beim Meere kennen gelernt haben. Jeder Strom und Bach ändert schon mit den Jahreszeiten seinen Gehalt an gelösten Mineralsubstanzen, und außerdem ist dieser wesentlich bedingt durch die Gesteinsbeschaffenheit des gesamten Areales, aus dem der Flußlauf stammt. So kann der Gehalt an gelöstem kohlensauren Kalke in 100,000 Teilen Wasser bis über 20 Teile steigen, wie das bei gewissen Strömen der Fall ist, die dem kalkreichen Juragebirge entstammen, während z. B. die Möll bei Heiligenblut in Kärnten nicht ganz einen, die Ötz bei Vent in Tirol nicht einmal ½ Teil kohlensauren Kalk in 100,000 Teilen Wasser enthalten, da sie aus reinem kristallinischen Schiefergebirge kommen. Den Lauf des Jordans umgeben Gesteine, welche reich an Kochsalz und ähnlichen leicht löslichen Salzen sind, und diese finden wir reichlich in seinen Gewässern enthalten.

Mündet ein Fluß in einen See, der einen Ablauf hat, so läßt er in demselben zwar die mechanisch suspendierten Teile zurück; in dem Gehalte an aufgelösten Substanzen wird er dagegen meistens keine wesentliche Änderung erleiden, Zuflüsse und Abfluß werden annähernd dieselbe Zusammensetzung zeigen. Ganz andre Verhältnisse finden wir dagegen in solchen binnenländischen Becken, welche in verhältnismäßig trocknen Gegenden liegen, und in denen die gesamte Wasserzufuhr der Flüsse durch Verdunstung wieder verschwindet, so daß kein Ablauf nach dem Meere stattfindet (s. die Karte auf S. 539). Es sind bekanntlich weite Gebiete unsrer Erdoberfläche, die von abflußlosen Seen und ihren Tributären eingenommen werden; vor allen ist es jenes bekannte zentrale Gebiet, das sich aus dem östlichen Europa durch Asien bis in die Nähe des Stillen Ozeanes erstreckt. Im Westen wird diese mächtige Zone eröffnet durch den Kaspisee, in den sich der gewaltigste Strom Europas, die Wolga, ferner der Ural, die Emba, der Terek, der Kur, der Atrek und andre ergießen, und dessen Wassergebiet sich bis auf wenige Meilen vom Strande der Ostsee erstreckt. Südlich schließt sich das persische Hochland an, dessen geringe Regenmengen

[1] Wir sehen dabei von solchen Flüssen ab, welche, wie z. B. die Themse, in ihrem untern Laufe durch die Wirkung der Flut Beimischung von Meerwasser enthalten.

ebenfalls in Seen ohne Abfluß Aufnahme finden, wenn sie nicht früher schon verdunsten und versickern; im Osten des Kaspisees liegt der Aralsee, der den Oxus und Jaxartes (Amu Darja und Sir Darja) und durch sie die Gewässer vom schneegipfeligen Thianschan, vom Hindukusch und vom Pamir, dem „Dache der Welt", aufnimmt. Es folgen der Balchaschsee, in den sich der Ili ergießt, der Lop-Nor im Herzen der Wüste Gobi, zu dem die Ströme von Kaschgar, Jarkand und Khotan ihren Weg nehmen, und eine Reihe andrer Seen in den hoch gelegenen mongolischen Wüstenländern und in der gewaltigen Gebirgswelt von Tibet (s. untenstehende Abbildung), bis weit im Osten das Gebiet ohne Abfluß nach dem Meere durch die Systeme des Amur, des Hoangho und des Jantsekiang begrenzt wird. In keinem Teile der Erde wiederholt sich diese Erscheinung in so riesigem Maßstabe.



Der abflußlose Salzsee Too Gyagar in Tibet (nach F. v. Richthofen).

Zwar sendet auch der größte Teil von Syrien und Arabien und fast die ganze nordafrikanische Wüste kein Wasser zum Meere, aber die Mehrzahl dieser Gegenden ist arm an Niederschlägen, viele derselben sind sogar fast ganz regenlos, so daß auf weite Strecken keine Flußläufe vorhanden sind und nur ganz vereinzelt Seenbildung vorkommt (Tsadsee, Schotts längs der Südküste des Mittelmeeres, Totes Meer). Bedeutende Gebiete ohne Abfluß, zum Teile mit Seenbildung, liegen ferner im Innern des australischen Kontinentes, endlich im westlichen Teile von Nordamerika zwischen Sierra Nevada und Wahsatchgebirge (s. Abbildung, S. 551); hier ist namentlich der berühmte Salzsee von Utah, an dessen Ufern die Mormonenstadt steht, neben vielen kleinern zu nennen. (S. auch die beigeheftete Tafel „Marian-See im Humboldtgebirge, Nordamerika".)

Allen diesen abflußlosen Wasserbecken kommt eine gemeinsame Eigenschaft zu, sie sind sämtlich salzig. So gering auch der Gehalt an gelösten Substanzen sein mag, den die Flüsse mitbringen, so muß doch in dem See eine fortwährende Konzentration derselben vor sich gehen; die gesamte einströmende Wassermenge verdunstet, die Salze bleiben, und da dieser Vorgang Jahrtausende hindurch dauert, wird schließlich eine solche Anhäufung derselben stattfinden, daß sie endlich auskristallisieren. Da kohlensaurer Kalk in fast allen Flüssen die erste Rolle spielt, wird er zunächst sich ausscheiden; bei der großen Menge dieses Stoffes in vielen Wassern und bei seiner geringen Löslichkeit wird dies bisweilen selbst in Seen mit



Abfluß geschehen, und sicher ist ein Teil der Süßwasserkalke, die wir aus ältern Perioden und namentlich aus der Tertiärformation kennen, auf diese Art entstanden. Allmählich aber müssen auch die übrigen Salze in immer größern Mengen sich ansammeln und endlich bis zu einem solchen Betrage sich steigern, daß auch die leichter löslichen unter ihnen, wie Chlornatrium oder Kochsalz, schwefelsaure Magnesia oder Bittersalz, in andern Fällen kohlensaures Natron (Soda) oder noch andre Verbindungen, sich ausscheiden; verhältnismäßig rasch wird dies dann geschehen, wenn, wie beim Toten Meere oder bei manchen der Salzseen in den Steppen der untern Wolga, schon die Zuflüsse starken Salzgehalt führen.

So einförmig die Zusammensetzung des Meerwassers ist, so außerordentlich wechselnd ist dieselbe in den abflußlosen Seen, nicht nur was die Konzentration, sondern auch was die Beschaffenheit der enthaltenen Bestandteile anlangt; dieselbe ist eben lediglich von der Natur derjenigen Stoffe abhängig, welche die Zuflüsse aus den Gesteinen, mit denen sie in Berührung kommen, auszulaugen im stande sind. Es werden demnach im Laufe der



Der abflußlose Salz-See und Mount Agassiz im Uintagebirge, Nordamerika (nach Clarence King). Vgl. Text, S. 550.

Zeit auf diese Weise Salzlager äußerst mannigfaltiger Art entstehen können, die aber, abgesehen von sehr seltenen Ausnahmen, nur eine sehr geringe Mächtigkeit haben werden, da die große Mehrzahl der abflußlosen Seen geringe Tiefe besitzt und nur ganz seichte Aushöhlungen des Bodens darstellt. Die Salzmengen, die aus manchen derselben gewonnen werden, sind immerhin bedeutend genug, um industriell von großer Wichtigkeit zu sein; so liefert der Eltonsee in der Steppe am Ostufer der untern Wolga gegen 6 Millionen Pud (1 Pud = 16,38 kg) Kochsalz im Jahre, und ungefähr ebensoviel wird aus dem benachbarten Baskuntschachsee gewonnen. Die Gesamtproduktion aus den Salzseen dieser Gegend kann auf mehr als 15 Millionen Pud veranschlagt werden, aber trotz dieser hohen Zahlen sind diese Vorkommnisse doch vom geologischen Standpunkte aus verschwindend klein, wenn wir sie mit den gewaltigen Salzstöcken der alten Formationen vergleichen.

Wohl das merkwürdigste und allerdings auch das abweichendste Beispiel eines Sees ohne Abfluß bildet das Tote Meer in Palästina. Das ganze Thal des Jordans, das Becken des Toten Meeres, die Depression, die sich von diesem zum Busen von Akabah zieht, sowie diese letztere Bucht selbst entsprechen einer gewaltigen Grabenverwerfung; den tiefsten Teil dieser Linie nimmt das Tote Meer ein, dessen Spiegel 390 m tiefer liegt als der des Mittelmeeres, und dessen Umgebung die tiefste Einsenkung des Festlandes darstellt, die wir überhaupt kennen. Aber auch die Tiefe des Wassers ist eine sehr bedeutende: sie beträgt bis zu

360 m, so daß also hier ganz ausnahmsweise die Möglichkeit zur Bildung sehr mächtiger Salzmassen gegeben ist. Der Salzgehalt ist außerordentlich beträchtlich, besonders in größern Tiefen weit mehr als an der Oberfläche, und ist durch die große Menge sehr leicht löslicher Salze, wie Chlorkalium und Chlormagnesium, besonders aber durch riesigen Bromgehalt, der bis zu 7/1000 ansteigt, ausgezeichnet. Die große Menge der leicht löslichen Salze im Gegensatze zu den schwerer löslichen, wie Kochsalz und Gips, beweist, daß hier die Konzentration schon sehr lange dauert, und daß die Hauptmasse der beiden letztern Bestandteile sich schon längst am Boden des Sees ausgeschieden hat.

Ausscheidung von Kalk.

Nicht nur aus den Seen, auch aus fließendem Wasser können mineralische Bestandteile auskristallisieren. Vor allen andern ist hier der kohlensaure Kalk zu nennen; derselbe ist nur spurenweise in ganz reinem Wasser löslich, weit leichter dagegen, wenn dieses, wie es gewöhnlich der Fall ist, Kohlensäure absorbiert enthält. Die Säure bildet das Lösungsmittel für den Kalk, und dieser scheidet sich wieder aus, wenn jene aus dem Wasser entweicht, was z. B. durch Kochen oder dadurch bewirkt wird, daß die Kohlensäure durch ein andres Gas, besonders durch gewöhnliche atmosphärische Luft, verdrängt wird. Dazu genügt eine innige Berührung des kohlensäurehaltigen Wassers mit Luft, indem es bei Luftzutritt stark geschüttelt oder beim Herabfallen aus der Höhe zerstäubt wird; das Wasser nimmt Luft auf, die Kohlensäure entweicht, und der von ihr in Lösung gehaltene Kalk scheidet sich aus.

Diese Thatsache erklärt uns sofort in der einfachsten Weise die Entstehung einer der merkwürdigsten Arten der Kalkbildung, der Tropfsteine oder Stalaktiten (s. Abbildung, S. 553), wie sie die Wandungen der Höhlen im Kalkgebirge oft in zauberhafter Pracht auskleiden. Mit Kohlensäure beladenes Wasser rinnt in feinen Adern durch Klüfte des Gesteines und löst hier Kalk auf, den es mit in die Tiefe führt. Trifft es nun auf seinem Wege nach abwärts auf eine Höhle, in deren Decke die Kluft mündet, so sickert es an einem nach abwärts gerichteten Gesteinsvorsprunge nach unten, verdunstet schon hier teilweise und sammelt sich am untern Ende des Felsstückchens zu Tropfen, die einer nach dem andern auf den Boden der Grotte fallen, daselbst zerstäuben und dabei den noch übrigen Kalkgehalt, soweit sie ihn nicht schon an der Decke verloren haben, als schönen, weißen Kalksinter abscheiden. Zwar ist das, was der einzelne Tropfen liefert, verschwindend wenig; aber viele Jahrtausende hindurch fällt eine Wasserperle nach der andern genau in derselben Bahn, so daß sich endlich jene gewaltigen Säulen bilden, die von der Decke nach abwärts („Stalaktiten") oder vom Boden nach aufwärts („Stalagmiten") wachsen (s. Abbildung, S. 554). Oft begegnet der Stalaktit dem Stalagmiten auf halbem Wege, und dann bilden sie einen hohen, schlanken Pfeiler, der Decke und Boden des Gewölbes verbindet. Steht man in einer Tropfsteinhöhle, so hört man unausgesetzt den Schall der niederfallenden Tropfen und sieht, wie sie einer um den andern in gemessenen Zwischenräumen auf die gerundete Oberfläche eines aus dem Boden hervorwachsenden Pilasters aufschlagen; hier ist das Wasser in ununterbrochener Thätigkeit an der Arbeit, und jeder Tropfen fügt dem Baue ein Atom neuen Sinters bei. So phantastisch und wechselnd auch die Formen dieser Gebilde sind, mögen sie wie Draperien eines Vorhanges herabhängen, mögen sie als mächtige, glockenförmige Kuppeln erscheinen oder die normale Säulenform zeigen, sie verdanken doch alle ihre Entstehung einen und demselben Vorgange, und die wechselnde Gestalt rührt nur von den Modifikationen im Baue von Decke und Boden der Grotte her, welche den Ablauf des Wassers beeinflussen.

Nach denselben Gesetzen erfolgen auch sonst Absätze von Kalksinter oder Kalktuff[1]. Stürzt z. B. ein Bach als Wasserfall über eine Felsstufe und zerstäubt dabei in Millionen von Tropfen, so ergeben sich wieder die Bedingungen zur Ausscheidung eines reichlich vorhandenen Kalkgehaltes. Das herrliche Quadermaterial für die Prachtbauten Roms, der Travertin, ist durch den Anio in dieser Weise im Laufe der Zeit abgesetzt worden, und noch heute und unter unsern Augen bildet sich derselbe da, wo der Fluß sich bei Tivoli in schäumenden Kaskaden von den Höhen des Apennin zur Campagna hinabstürzt (s. Abbildung, S. 556).



Tropfsteine der Adelsberger Grotte in Krain, Österreich. Vgl. Text, S. 552.

Noch weit häufiger finden durch Quellen solche Bildungen statt, denen man in kalkreichen Gegenden allenthalben begegnet[2]. Ihre oft ziemlich lockern Massen umschließen sehr häufig die Abdrücke von Blättern, Stengeln und andern Pflanzenteilen oder massenhafte

---

[1] Als Tuffe bezeichnet man in der Regel Gesteine, die aus vulkanischem Materiale durch Wasser zusammengeschwemmt worden sind. Obgleich es sehr mißlich ist, den Namen Kalktuff auf etwas davon total Verschiedenes anzuwenden, so ist derselbe doch im Sprachgebrauche so eingewurzelt, daß wir ihn nicht umgehen können.

[2] Merkwürdigerweise kommen ausgedehnte Kalktuffbildungen auch in Gegenden vor, wo gar keine ältern Kalksteine vorhanden sind, aus welchen die tuffbildenden Quellen ihren Kalkgehalt hätten entnehmen können. In den Karpaten sind z. B. Kalktuffe im Sandsteingebiete fast häufiger als in der Kalkzone. Der Grund dieser scheinbar rätselhaften Erscheinung ist jedoch ein sehr einfacher: wenn Wasser langsam durch porösen Sandstein mit kalkigem Bindemittel sickert, wird es auf seinem Wege mehr und länger mit Kalk in Berührung kommen und davon mehr zu lösen im stande sein, als wenn es rasch durch die weiten Klüfte eines kompakten Kalksteines abläuft.

Schneckengehäuse, bisweilen auch Knochen ꝛc. (s. Abbildung, S. 555). Das bekannteste Beispiel dieser Art liefern die Thermen von Karlsbad in Böhmen, deren Absatz, der Sprudelstein, das ganze Thal erfüllt; so rasch geschieht hier der Kalkabsatz, daß Gegenstände, die man in das Wasser legt, in kurzer Zeit vollständig überrinden.

Einzelne sehr heiße Quellen enthalten in großer Menge Kieselsäure gelöst, dieselbe Substanz, welche wir als Quarz, Opal, Achat, Feuerstein kennen; aus diesen Quellen scheidet sie sich oft in großen Massen als weißer Kieselsinter ab. In gewaltigem Maßstabe sind solche Bildungen bekannt aus Island, aus dem sogenannten Yellowstonepark an der nord-

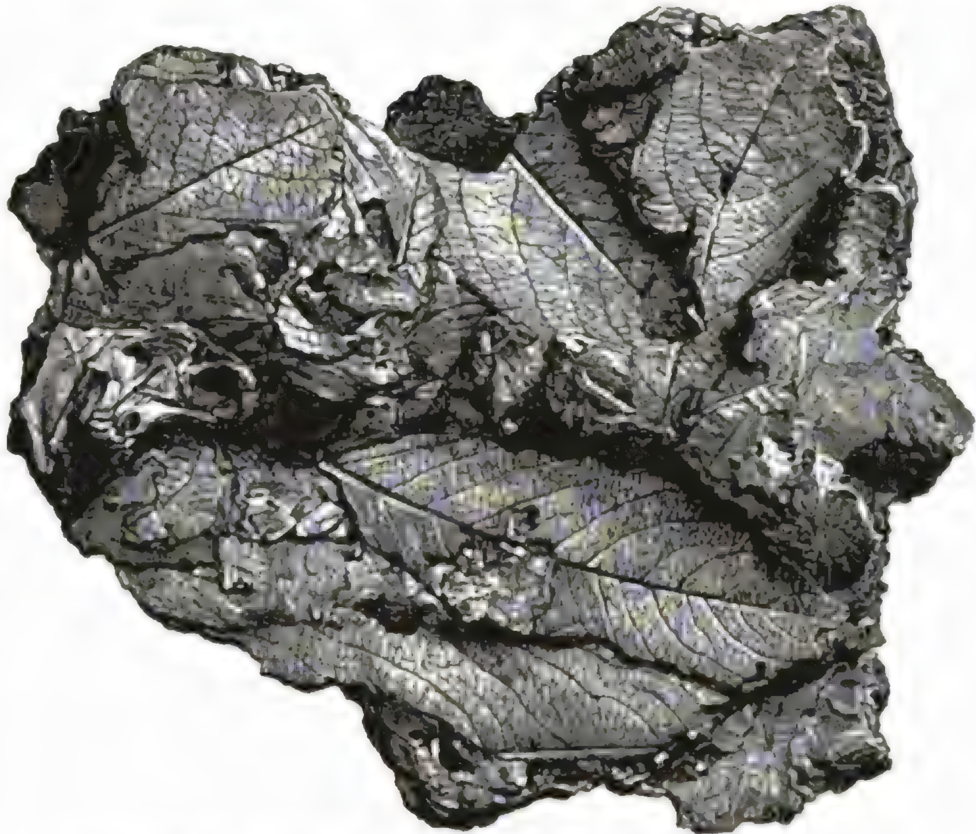


Stalaktiten und Stalagmiten der Adelsberger Grotte in Krain, Österreich. Vgl. Text, S. 552.

westlichen Grenze von Wyoming in den Vereinigten Staaten von Nordamerika und aus Neuseeland, wie das im vorigen Kapitel geschildert wurde (s. S. 378–393).

Das Meer war der Ausgangspunkt unsrer Betrachtung der Sedimentgesteine; wir kehren zu ihm zurück, um die wichtige und vielbesprochene Frage zu erörtern, ob sich aus seinem Wasser kohlensaurer Kalk direkt ausscheiden kann, und ob wir diesem Vorgange die Bildung mächtiger Kalklager aus früherer Zeit zuschreiben dürfen. Wie oben gezeigt, enthält das offene Meer nur eine verschwindende Menge von kohlensaurem Kalke und könnte eine viel größere Quantität desselben aufnehmen; die Erfahrungen der neuern Zeit haben sogar erwiesen, daß es in seinen großen Tiefen alle Kalkschalen an der Oberfläche schwimmender Tiere auflöst, die nach dem Tode ihrer Einwohner auf den Boden sinken. Die Annahme einer direkten Kalksteinbildung im offenen Meere unter den heutigen Verhältnissen wäre demnach geradezu widersinnig; dagegen ist die Möglichkeit gegeben, daß lokal beschränkte Küstenbildungen durch unmittelbares Auskristallisieren von kohlensaurem Kalke entstehen.

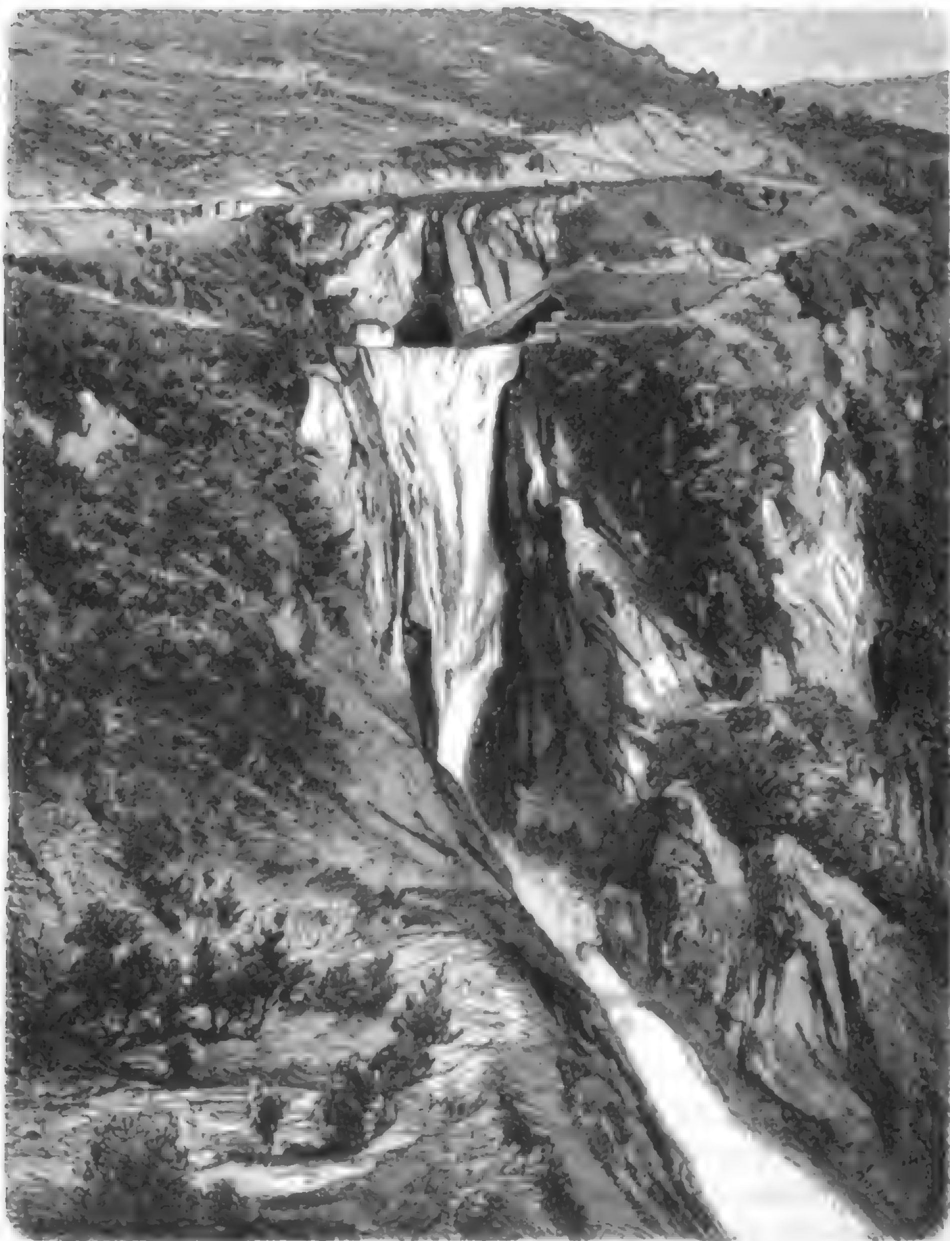
Der Kohlensäuregehalt des Wassers, welcher für die Lösung des Kalkes sehr wichtig ist, kann durch atmosphärische Luft verdrängt werden; besonders günstige Bedingungen in dieser Beziehung bilden alle diejenigen Orte, an welchen starke Brandung herrscht und dadurch Luft und Wasser in möglichst innige Berührung kommen. Wo das Meer mit Gewalt an seine Ufer gepeitscht wird, da verliert es seine Kohlensäure und damit zum großen Teile seine Fähigkeit, Kalk zu lösen. Ist nun überdies dieser Bestandteil infolge der Nähe einer Flußmündung lokal in stärkerm Verhältnisse vorhanden, so wird er sich an dem brandenden Küstensaume abscheiden und zu Schichten aufhäufen können; der nämliche Vorgang wird in Binnenbecken stattfinden, welche, wie das Mittelländische Meer, besonders kalkreich sind. In der That sind auch solche Uferbildungen von manchen Punkten, namentlich in ziemlicher Entwickelung aus der Gegend der Rhônemündung, bekannt, und unzweifelhaft werden sie sich mit der Zeit noch in sehr verschiedenen Gegenden finden.



Travertin mit Blattabdrücken, von Tivoli bei Rom. Vgl. Text, S. 554.

Jedenfalls aber können sich auf diese Weise nur sehr beschränkte und im Verhältnisse zu den großen ozeanischen Vorkommnissen fast verschwindende Kalkabsätze bilden. Wir stehen daher vor der Frage: woher stammen jene ungeheuern marinen Kalkbildungen, deren kolossale Mächtigkeit wir in den Alpen mit Staunen sehen, und welche sich oft über Hunderte von Quadratmeilen in gleichmäßiger Verbreitung verfolgen lassen? Und Hand in Hand mit dieser Frage tritt uns das andre Problem entgegen, wohin die Massen von gelöstem Kalke kommen, die Jahr für Jahr von den Flüssen dem Meere zugeführt werden, so daß man diese Substanz als die herrschende im Wasser des Ozeanes erwarten sollte. Mit kaum nennenswerten Ausnahmen ist in allen Flußwassern der kohlensaure Kalk unter den gelösten Bestandteilen weitaus am stärksten vertreten, und im offenen Meere ist er in so sehr geringer Menge vorhanden, daß er kaum mehr nachgewiesen werden kann, während Kochsalz, das im Ozeane drei Viertel der gelösten Teile ausmacht, in den Flüssen eine ganz untergeordnete Rolle spielt. Man kann annehmen, daß durchschnittlich in 1000 Teilen Flußwasser ein Teil kohlensaurer Kalk enthalten ist, und daß alle Flüsse der Erde in 15,000 Jahren ebensoviel Wasser liefern, wie das Meer enthält, daß sie mithin in dieser Zeit den ganzen Wasserbestand des Meeres erneuern; offenbar müßte also der Ozean in einigen Jahrtausenden ganz mit Kalk gesättigt sein, wenn nicht ein energisch wirkender Faktor ihm diesen Bestandteil fortwährend wieder entzöge und ihn zur Bildung mächtiger Schichtgebilde verwendete.

Es ist die Thätigkeit der Organismen, der Tiere vor allen, daneben aber auch der Pflanzen, welche hier eingreift. Bekanntlich sondert eine zahllose Menge von Geschöpfen des Meeres kalkige Schalen oder Skelettteile ab, und zwar sind es namentlich Muscheln, Schnecken, Seeigel, Seesterne, Krinoiden, Korallen, Foraminiferen unter den Tieren, gewisse Algen unter den Pflanzen, welche den Kalk dem Meerwasser entziehen. Wenn man an manchen Küstenstrecken, z. B. am Lido bei Venedig, den Boden betrachtet, so sieht man massenhafte gut erhaltene Muscheln und Schnecken-Gehäuse, welche von den Wellen ausgeworfen wurden; jede neue Woge rollt sie am Strande hin und her, sie zerbrechen allmählich, die Trümmer werden mehr und mehr abgerundet, und als letztes Produkt erscheinen weiße, kalkige Körner, nicht größer als die Körner des Küstensandes, dem sie hier beigemischt sind; so entsteht das Material, aus dem sich im Laufe der Zeit ein kalkiger Sandstein entwickelt. An andern Stellen des Meeres finden sich reine Anhäufungen von Resten kalkschaliger Organismen, aus welchen eigentliche Kalksteine entstehen werden, während da, wo sie mit thonigem Schlamme gemischt sind, Anlaß zur Bildung von Mergel, einem Gemenge von Thon und kohlensaurem Kalke, gegeben ist.



Der Wasserfall von Tivoli mit seinen Travertinbildungen. Vgl. Text, S. 553.

Die Art und Weise, in welcher die Organismen und namentlich die Tiere den Kalk aufnehmen und abscheiden, ist noch nicht endgültig festgestellt; die nächstliegende Annahme wäre natürlich die, daß sie unmittelbar kohlensauren Kalk des Meerwassers zum Schalenbaue verwenden, allein für die Richtigkeit derselben ist kein Beweis bekannt. Es ist sogar nicht ohne eine gewisse Berechtigung hervorgehoben worden, daß der Gehalt an kohlensaurem Kalke im Meerwasser ein überaus geringer ist, und daß man ihn daher nicht als

unmittelbare Quelle des Materiales für die Schalenbildung betrachten könne; eine einzige Auster müßte aus ca. 1½—2 cbm Wasser den ganzen Gehalt an kohlensaurem Kalke aufnehmen, um ihre Schalen zu bilden. Diese Schwierigkeit hat manchen Forschern genügend geschienen, um andre, weit verwickeltere Versuche der Erklärung zu rechtfertigen. So glaubt Mohr, daß nur der schwefelsaure Kalk in genügender Menge vorhanden sei, um die massenhafte Bildung der Molluskenschalen, Korallen &c. zu ermöglichen. Da aber im tierischen Leben kein Vorgang bekannt ist, der die Umwandlung des schwefelsauren Kalkes in kohlensauren zu vermitteln im stande wäre, so müßten es nach ihm die Pflanzen sein, welche den Gips reduzieren; der Kalk desselben geht in die Aschenbestandteile der Pflanze über, der Schwefel der Schwefelsäure in Albuminsubstanzen. Die Tiere sollen ihrerseits den kohlensauren Kalk zu ihren Gehäusen und Skeletteilen lediglich aus den Aschenbestandteilen der ihnen zur Nahrung dienenden Pflanzen aufnehmen, den Schwefelgehalt derselben aber wieder zu Schwefelsäure oxydieren und dem Meere zurückgeben, die dann ihrerseits wieder den von den Flüssen herbeigeführten kohlensauren Kalk zersetzt und in Gips verwandelt.

Es läßt sich nicht leugnen, daß diese geistvolle Hypothese theoretisch möglich ist, aber es ergeben sich aus dem Vorkommen in der Natur wohl unüberwindliche Einwürfe gegen dieselbe; namentlich läßt sich der Umstand, daß einigermaßen größere Meerestiefen keine Pflanzen enthalten, daß aber trotzdem kalkschalige Tiere dort leben, kaum mit einer solchen Annahme vereinigen. Überhaupt ist hier mit geistvollen Spekulationen sehr wenig gedient; wir stehen vor einer Frage, die nicht der Geologie zufällt und nicht mit ihren Untersuchungsmethoden gelöst, sondern nur durch das physiologische Experiment entschieden werden kann, und solange nicht ausgedehnte Versuche über diesen Gegenstand vorliegen, müssen wir uns damit bescheiden, daß wir eine sichere Erklärung der Erscheinungen vorläufig nicht geben können. Jedenfalls steht die Thatsache fest, daß zahlreiche Organismen des Meeres Kalkschalen absondern, welche in großen Massen Sedimente bilden, und daß der von den Flüssen ins Meer gelangende kohlensaure Kalk direkt oder indirekt das Material hierzu liefert.

Wie oben gezeigt, werden die suspendierten, schwebenden, Kalkteile, welche eine Trübung der Flüsse hervorbringen, vom Wasser allmählich aufgelöst und können daher nur in seltenen Ausnahmefällen im Meere zur Ablagerung kommen; nun entsteht die Frage, warum denn nicht auch die Schalen der Meerestiere dasselbe Schicksal erleiden und aufgelöst werden, zumal das Meerwasser freie Kohlensäure enthält. Es müßte dies geschehen, wenn nicht durch den eigentümlichen Bau der organischen Kalkbildungen ein Schutz vor dem Angriffe des Meerwassers gegeben wäre. Löst man z. B. eine Muschel in Salzsäure auf, so bleibt eine gallertartige Masse von der Form der Muschel zurück; diese ist von einem Netzwerke organischer Substanz durchzogen, deren Membranen den kohlensauren Kalk umhüllen und so vor der Auflösung bis zu einem gewissen Grade bewahren. Viele Molluskenschalen sind mit einer kräftigen Epidermis bedeckt, und in ähnlicher Weise sind auch die Kalkteile andrer Tiere durch organische Gewebe geschützt. G. Bischoff hat sehr interessante Versuche über diesen Gegenstand angestellt, welche zeigen, daß selbst gepulverte Austernschalen von Säuren viel weniger angegriffen werden als gewöhnlicher Kalk.

Durch diese Eigentümlichkeit ihres Baues geschützt, häufen sich die Schalen und Gerüste der verschiedensten Tiere und mancher Pflanzen am Meeresgrunde an und können sich im Verlaufe langer Zeiträume zu ungeheuern Massen auftürmen. Die schroff abstürzende Felsmauer, welche den Steilabfall der Schwäbischen und Fränkischen Alp krönt, die wild zerrissenen Kalkberge der Nord- und Südalpen, welche Gesteinsmächtigkeiten von einigen Tausend Metern aufweisen, die vielfach gefalteten Kalke, welche die öden, karstigen Landstriche

am Ufer des Mittelmeeres zusammensetzen, sie alle verdanken ihre Entstehung der kalkabsondernden Thätigkeit von Billionen und Trillionen von Organismen, die in vergangenen Zeiten existiert haben. Und es sind keineswegs die größern Formen, denen man in dieser Beziehung eine überwiegende Rolle zuschreiben kann; vermutlich haben die bedeutendste Wirkung solche Lebewesen erzielt, welche mit freiem Auge kaum deutlich erkennbar sind, zum Teile sogar erst bei ziemlich ansehnlicher Vergrößerung sichtbar werden.

Es gibt kaum eine Thatsache, die mehr als diese geeignet wäre, uns eine Vorstellung von der ungeheuern Wirkung zu geben, welche die durch lange Zeiträume fortgesetzte Thätigkeit scheinbar geringfügiger und unbedeutender Faktoren hervorbringt. Fast mikroskopisch kleine Tierchen mit zarter Kalkschale schwimmen im Wasser des Meeres, und ihre Gehäuse sinken nach dem Tode der Bewohner auf den Boden nieder. Wie lange mag es dauern, bis eine nur 1 mm dicke Lage den Grund bedeckt, Jahrhunderte mögen vergehen, ehe es so weit kommt, und doch entstehen im Verlaufe langer geologischer Perioden auf diese Weise Ablagerungen, die in gewaltigem Maßstabe gebirgsbildend wirken. Es gibt keine bessere und mehr in die Augen fallende Illustration des obersten leitenden Grundsatzes der neuern Geologie, daß großartige Erscheinungen, die wir vollendet vor uns sehen, in der Regel nicht der einmaligen, kurz dauernden Wirkung einer gewaltigen Kraft, sondern der Anhäufung zahlloser kleiner Einzelwirkungen zuzuschreiben seien.

Kalkbildung durch Mollusken, Stachelhäuter und Korallen.

Die Schalen verschiedener Weichtiere oder Mollusken, namentlich von zweischaligen Muscheln und von Schnecken, bilden in großer Menge das Material zur Kalkbildung. Es ist das vorwiegend in der Nähe des Strandes und in wenig tiefem Wasser der Fall, wo diese Formen in ungeheurer Menge leben; ganze mehr oder weniger gut erhaltene Schalen, größere oder kleinere Trümmer derselben oder das feine Zerreibsel, welches durch ihre Abrollung in der Brandung entsteht, werden, gemischt mit Thon und Sand, seltener für sich allein abgelagert und sind wesentliche Kalkbildner für die litoralen (von litus, die Küste) Gebiete. In Gegenden, wo, wie z. B. auf den britischen Inseln, hochpelagische (von pelagus, das Meer; pelagisch, d. h. dem offenen Meere angehörig) Kalkbildungen aus frühern Perioden wenig vertreten sind, ergeben daher Dünnschliffe verschiedener Kalke in der Regel das Vorhandensein von Molluskenschalen als wichtigstes Element des Aufbaues. In den Ablagerungen aus tiefem Wasser treten sie dagegen, wenigstens in der Jetztzeit, stark zurück, und annähernd ähnliche Verhältnisse haben, von den ältesten geologischen Perioden abgesehen, auch in frühern Zeiten geherrscht.

Die Echinodermen oder Stachelhäuter, zu denen Seeigel, Seesterne, Seelilien gehören, treten jetzt kaum irgendwo in hinreichender Menge auf, um zur Gesteinsbildung einen nennenswerten Beitrag zu liefern; doch waren sie in frühern Perioden der Geschichte unsrer Erde offenbar sehr viel stärker vertreten als heute, und besonders gilt dies von den Krinoiden oder Seelilien (s. Abbildung, S. 559), welche, in der Jetztwelt auf wenige Gattungen reduziert, in der Vorzeit einen ebenso wunderbaren Reichtum an Formen wie eine staunenswerte Fülle von Individuen entwickelten. Sehr häufig finden wir in verschiedenen paläozoischen und mesozoischen Formationen Kalkbänke von oft bedeutender Mächtigkeit, die ganz aus ihren Kalkteilen, namentlich aus den Trümmern der gegliederten Stiele, bestehen, mit welchen diese Tiere sich an feste Körper anheften. Verschiedene paläozoische und mesozoische Gebilde dieser Art sind bekannt; die Abbildung auf S. 560 oben zeigt ein Stück

aus dem sogenannten Muschelkalke der Triasformation, welches ganz aus Stielgliedern und einzelnen Kronenteilen eines Krinoiden, des Encrinus liliiformis, besteht. Eins der großartigsten Beispiele von Anhäufungen solcher Art findet sich in den Karpaten in einem Gebiete an der Grenze von Ungarn und Galizien: in der sogenannten südlichen Klippenregion von Neumarkt, südlich von Krakau, bis in die Gegend von Eperies im Saroser Komitate in Ungarn besteht fast der ganze mittlere Jura aus mächtigen Anhäufungen von Krinoidenstielen.

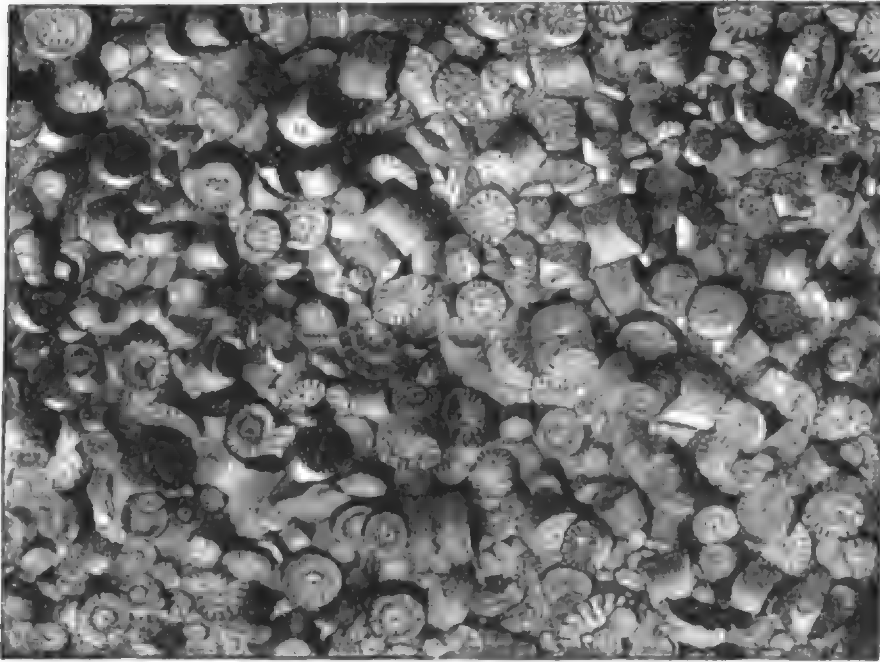
Trotzdem tritt die Bedeutung der Stachelhäuter zurück im Vergleiche zu derjenigen einer niedriger organisierten Abteilung des Tierreiches, der Korallen, deren gewaltige Bauten zu den merkwürdigsten Wundern des Ozeanes gehören. Die Korallen[1] sind Angehörige der großen Tierabteilung der Cölenteraten, welche durch vorwiegend strahligen Körperbau und das Vorhandensein eines innern Verdauungsraumes charakterisiert sind, der keine oder eine nur spurenweise vorhandene Differenzierung in Speiseröhre, Magen und Darm zeigt. Viele von diesen Korallen scheiden in ihrer Körperwandung ein meist ziemlich kompliziertes Kalkgerüst, die sogenannte Zelle, ab, in deren Innerm sternförmig angeordnete Leisten zu verlaufen pflegen. Bei vielen bleibt jedes Individuum einzeln und gesondert für sich, bei andern dagegen vereinigen sich überaus zahlreiche Individuen zu einem Stocke oder einer Kolonie, welche dann auch ein zusammenhängendes Kalkgerüst besitzen. Entweder legen sich dabei die einzelnen



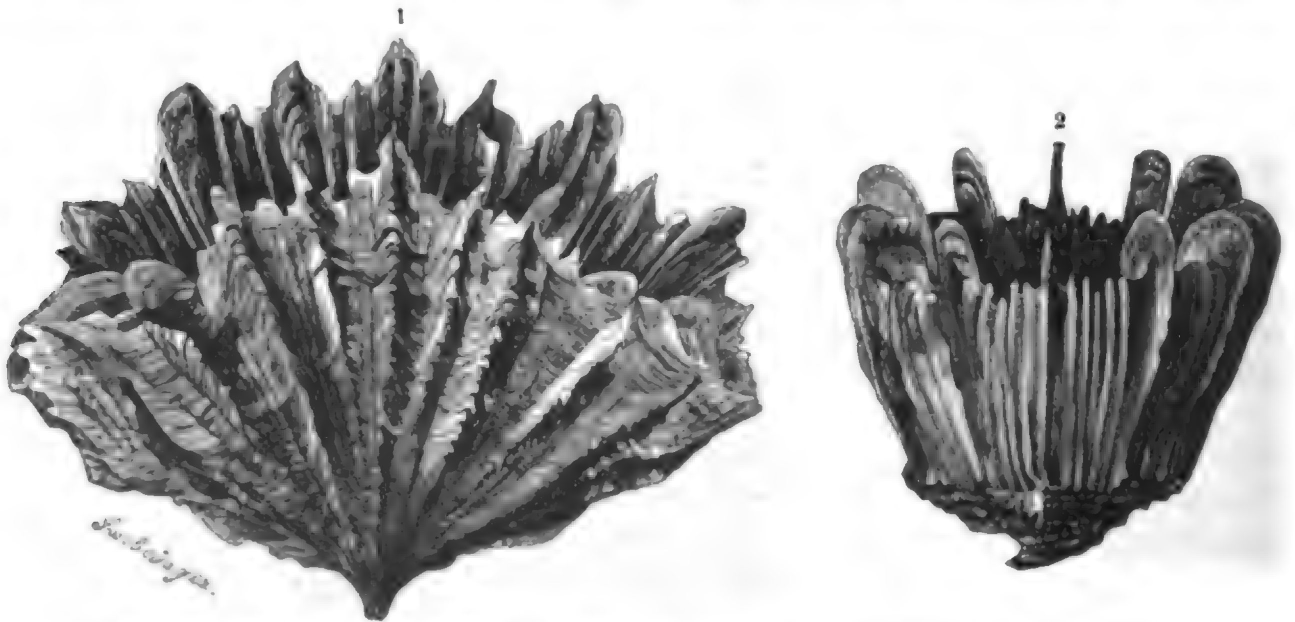
Seelilie (Pentacrinus Briaroides) aus dem Lias (nach Goldfuß). Natürl. Größe. Vgl. Text, S. 558.

[1] Wenn hier von Korallen die Rede ist, darf man nicht an Körper von der Beschaffenheit der roten Edelkoralle denken; diese ist ein festes inneres Achsenskelett, wie es nur verhältnismäßig wenigen Formen zukommt, während die in großen Massen und gesteinsbildend auftretenden Hartteile von Korallen mehr oder weniger becherförmige, schüsselförmige oder cylindrisch angelegte Zellen sind, welche die wichtigsten Weichteile des Tieres umschließen.

Zellen mit ihren Wandungen aneinander an, oder verschmelzen zu lang gezogenen Reihen; bei andern wuchern die Sternleisten nach außen und verwachsen mit denjenigen des Nachbarindividuums, während bei wieder andern die einzelnen Zellen in eine gemeinsame Kalkmasse eingesenkt sind.

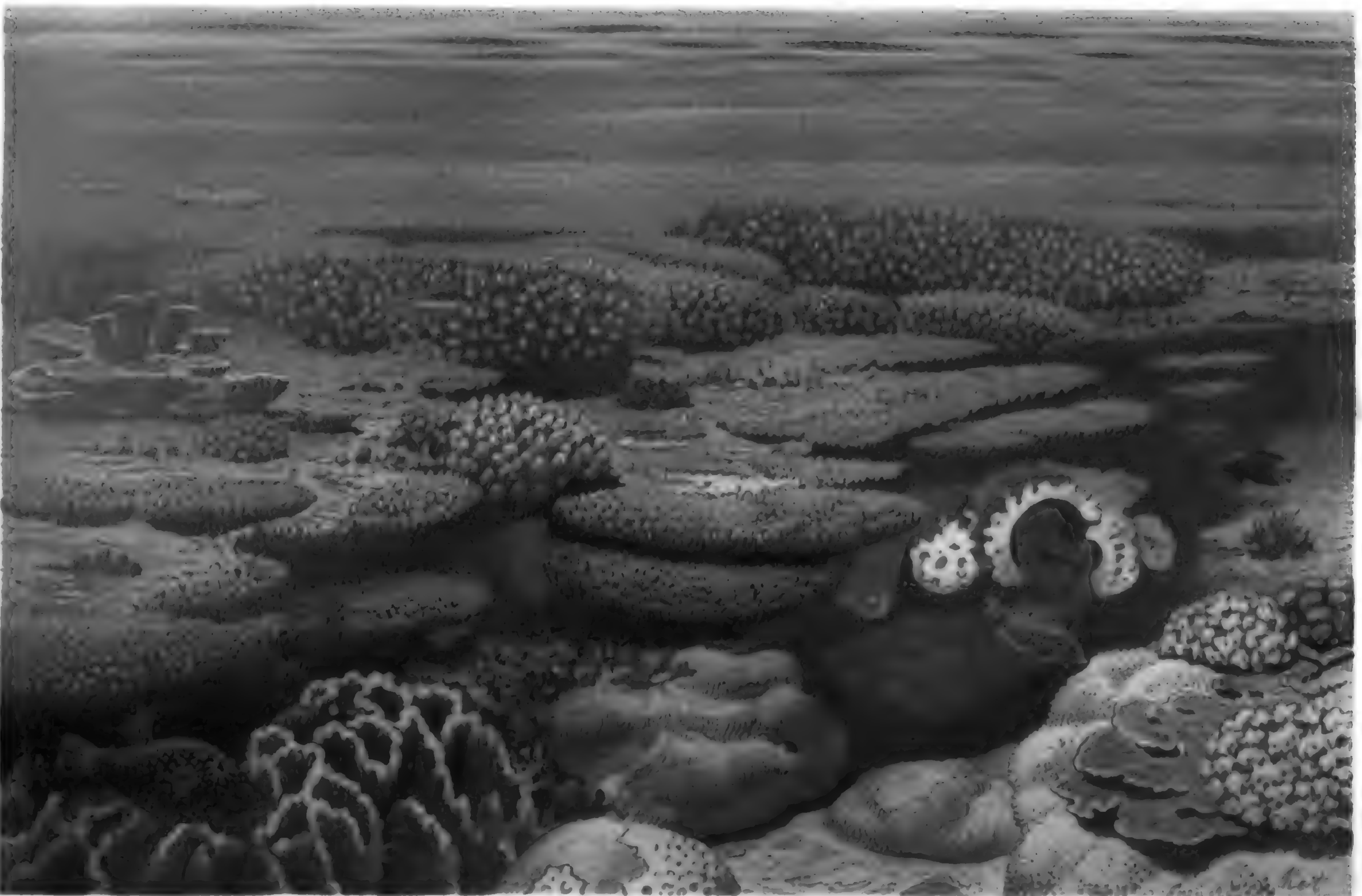

Aus Krinoidengliedern (Encrinus liliiformis) zusammengesetzter Kalk. Vgl. Text, S. 558.

Die Verbreitung der Korallen in allen Meeren ist eine sehr weite; in warmen wie in kalten Regionen, in seichtem Wasser wie in riesigen Tiefen treten Repräsentanten derselben auf. Aber einer großartigen Entwickelung sind nur ganz spezielle Verhältnisse günstig; in kalten Gegenden und in der Tiefe finden sich bloß Einzelkorallen (s. untenstehende Abbildungen) oder kleine, aus wenigen Zellen bestehende Kolonien. Große Stöcke und Rasen von Korallen kommen nur in heißen Meeren vor, wo die Temperatur des Wassers an der Oberfläche und in geringem Abstande von derselben auch in den Wintermonaten nicht unter 20° C. sinkt. Auch hier treten sie nur unter gewissen Bedingungen auf; ihr Vorkommen ist nach oben



Einzelkorallen aus tiefem Wasser (nach Wyville Thomson). 1 Flabellum — 2 Ceratotrochus.

begrenzt durch den niedrigsten Ebbestand, nach unten reichen sie jedenfalls nicht in bedeutende Tiefen, und schon bei 20 Faden (56,5 m) scheint ihr Fortkommen sehr beeinträchtigt, wenn auch Angaben vorliegen, daß lebende Exemplare bis zu 40 Faden hinabreichen. Ferner erfordern sie ganz klares Wasser von normalem Salzgehalte; wo dasselbe schwebende

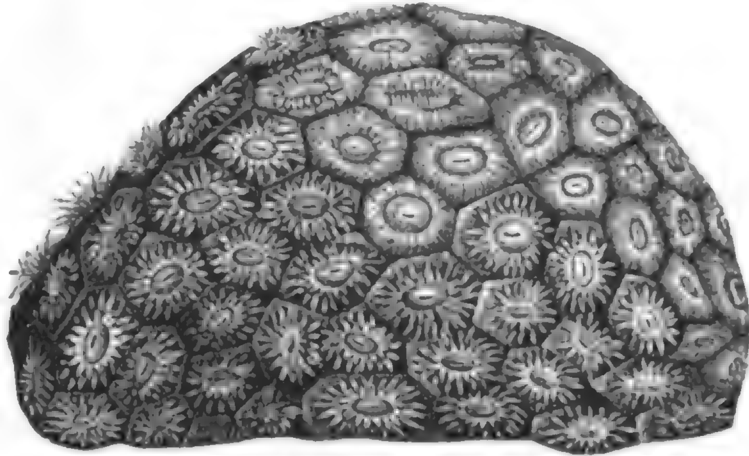


LEBENDE RIFFKORALLEN.

Nach der Natur von E. v. Ransonnet

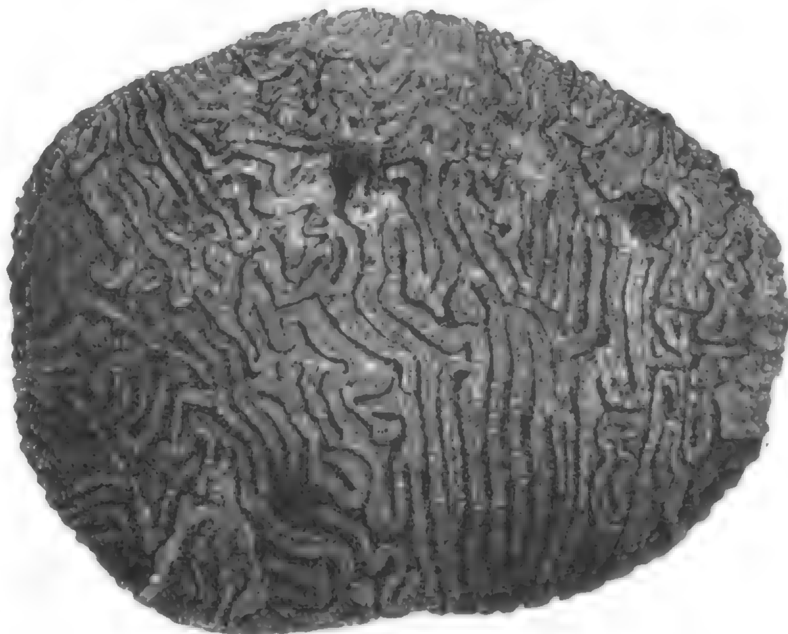
Sedimentteilchen enthält oder ausgesüßt ist, gehen die großen Korallenkolonien zu Grunde. Küsten mit schlammigem Boden, der stets vom Wellenschlage wieder aufgewühlt wird, schließen demnach ihr Vorkommen aus, ebenso werden sie von den Mündungen von Flüssen, die schwebende Teile und süßes Wasser ins Meer führen, sich fern halten.

Wo alle Umstände zutreffen, können die Stöcke der Korallen in gewaltigen Massen auftreten. Allerdings kennt man weite Strecken, denen sie fehlen, ohne daß dafür eine bestimmte Ursache angegeben werden könnte, wie z. B. an der Westküste des äquatorialen Amerika; in der Regel entwickeln sie sich aber an seichten Stellen der tropischen Meere, wenn ihnen der Boden derselben günstig ist. Dort sondern die Scharen dieser zarten Tiere ihre kalkigen Gerüste ab, und durch ihre fortwährende Thätigkeit sind sie im stande, der zerstörenden Brandung Widerstand zu leisten; ja, wo diese am ungestümsten tobt, gedeihen die Korallenbauten am besten und finden sie ihre kräftigste und üppigste Entwickelung.



Astraea pallida mit den lebenden Tieren. ⅓ natürl. Größe.

Es ist hier nicht der Platz, auf die zoologische Charakteristik der Korallen einzugehen, nur einige wenige der mächtigsten Kalkbildner aus den jetzigen Meeren mögen hier erwähnt werden. Wo die Brandung am wildesten anstürmt, ist namentlich die Heimat der seltsam gezackten Millepora-Bauten und der plump baumförmigen Poriten (s. Abbildung, S. 562), deren festes Gerüst aus einem feinen, netzförmigen Baue von Kalkteilen besteht. Von großer Wichtigkeit sind ferner die Madreporen (s. Abbildung, S. 4), die überaus vielgestaltige Formengruppe der Asträen (s. obenstehende Abbildung) mit verhältnismäßig größern Einzelkelchen, welche sich unmittelbar mit den Wandungen aneinander legen, die eigentümlich geformten Mäandrinen (s. Abbildung Diploria cerebralis) mit ihren langgestreckten, seltsam gewundenen Zellreihen und zahlreiche andre, deren Aufzählung hier zu weit führen würde. Zu ihnen gesellen sich in bedeutender Masse Vertreter des Pflanzenreiches, Algen, die sogenannten Nulliporen, welche sehr große Kalkmengen in ihren meist unregelmäßigen knolligen oder krustenbildenden Stöcken absondern (s. beigeheftete Tafel „Lebende Riffkorallen").



Diploria cerebralis, eine Mäandrine (nach Dana).

Die Größe der Einzelindividuen in den Korallenkolonien ist in der Regel sehr gering

und sinkt bei Milleporen, Poriten und Madreporen sogar zu winziger Kleinheit herab; aber durch fortwährende Knospung bei manchen Formen, durch Selbstteilung bei andern wachsen immer neue Zellen an, so daß durch die Vereinigung von Myriaden von Individuen Kolonien von riesigen Dimensionen gebildet werden. Die domförmigen Stöcke der Asträen und Mäandrinen können einen Durchmesser von 8 m erreichen, und die Poriten bilden massiv baumförmige Bauten, deren Höhe bis zu 6 m steigt. Die Annahme, daß diese ganze Masse aus lebenden Zellen bestehe, wäre aber ein großer Irrtum; im Gegenteile ist das Innere verlassenes und abgestorbenes Kalkgerüst, und nur die äußerste Oberfläche ist von lebenden Tieren bedeckt, die an den riesigen Domen der Asträen kaum 12 mm, an den Poriten nicht mehr als 4 mm weit ins Innere reichen. Wie lange ein solcher Korallenbau von der geschilderten Größe zu seiner Ausbildung braucht, ist noch nicht bestimmt ermittelt; doch sind einzelne Anhaltspunkte für die Vermutung vorhanden, daß hierzu weit mehr als ein Menschenalter notwendig ist.



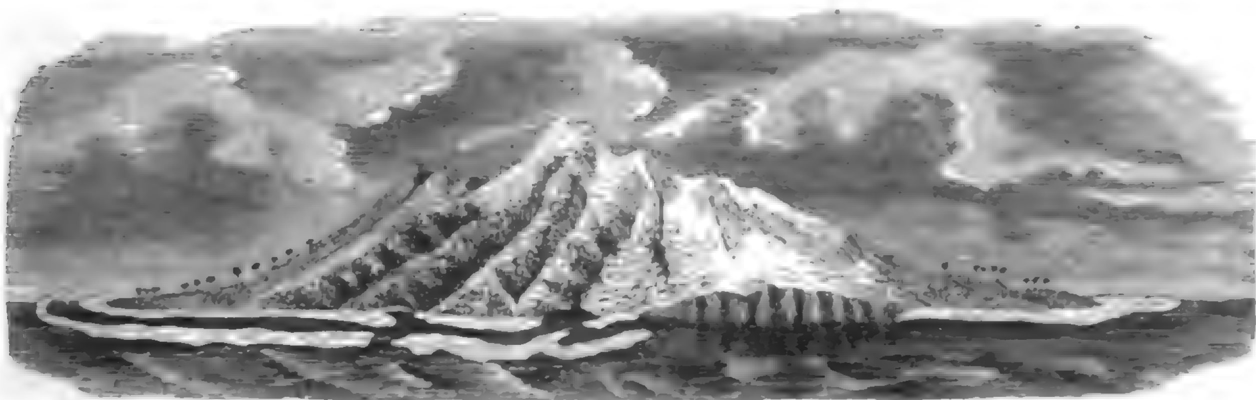
Porites (nach Agassiz). Vgl. Text, S. 561.

Entstehung der Korallenriffe und Atolle.

Dem massenhaften, geselligen Auftreten solcher Tierbauten in den tropischen Meeren verdanken die Korallenriffe und Koralleninseln, diese wunderbarsten Bildungen des äquatorialen Ozeanes, ihre Entstehung. Mannigfach sind ihre Formen und die Art ihres Auftretens, und manche Erscheinungen an ihnen sind so eigentümlich, daß sie nur schwer zu erklären sind. Wie schon erwähnt, kommen riffbauende Korallen nur bis zu einer Tiefe von etwa 20 Faden unter dem Meeresspiegel gut fort, in größerer Entfernung von der Oberfläche können sie nicht existieren. Nun kennen wir aber Koralleninseln, die weit von jeder Küste mitten aus dem Ozeane aufragen, und deren Wände unterseeisch fast senkrecht 300—650 m tief abstürzen. Ursprünglich glaubte man, daß die Riffkorallen auch in den Abgründen des Meeres leben und aus diesen herauf bis an den Wasserspiegel ihre Bauten führen. Diese Erklärung gab z. B. vor mehr als 100 Jahren Reinhold Forster, der

Begleiter Cooks, dem wir die erste wissenschaftliche Beschreibung dieser Bildungen verdanken. Als man sich aber überzeugte, daß die Korallen nur in seichtem Wasser gedeihen, als man aus größern Tiefen längs der Riffe immer nur abgestorbene Trümmer zum Vorscheine brachte, da war diese Auffassung nicht mehr haltbar. Man griff zu einer andern Hypothese, daß nämlich die Koralleninseln auf den Gipfeln unterseeischer Berge, submariner Vulkane, aufsitzen; aber eine solche Annahme erweist sich ebenfalls bei genauerer Betrachtung als unmöglich. Schon die Voraussetzung einer so großen Anzahl von Vulkanen, die vom Meeresgrunde gerade bis zu jener seichten Zone heraufragen sollten, ist sehr unwahrscheinlich, und überdies ist die Form vieler Atolle (ringförmiger Koralleninseln) derartig, daß sie unmöglich dem Rande eines Kraters entsprechen können; solche Ringwälle von 50—60 Seemeilen Durchmesser und viel größerer Länge als Breite zeigen Verhältnisse, wie sie an den Feuerbergen nie vorkommen.

Die richtige Erklärung dieser merkwürdigen Bildungen wurde nahezu gleichzeitig von zwei Forschern in vollständiger gegenseitiger Unabhängigkeit gefunden, von Darwin und



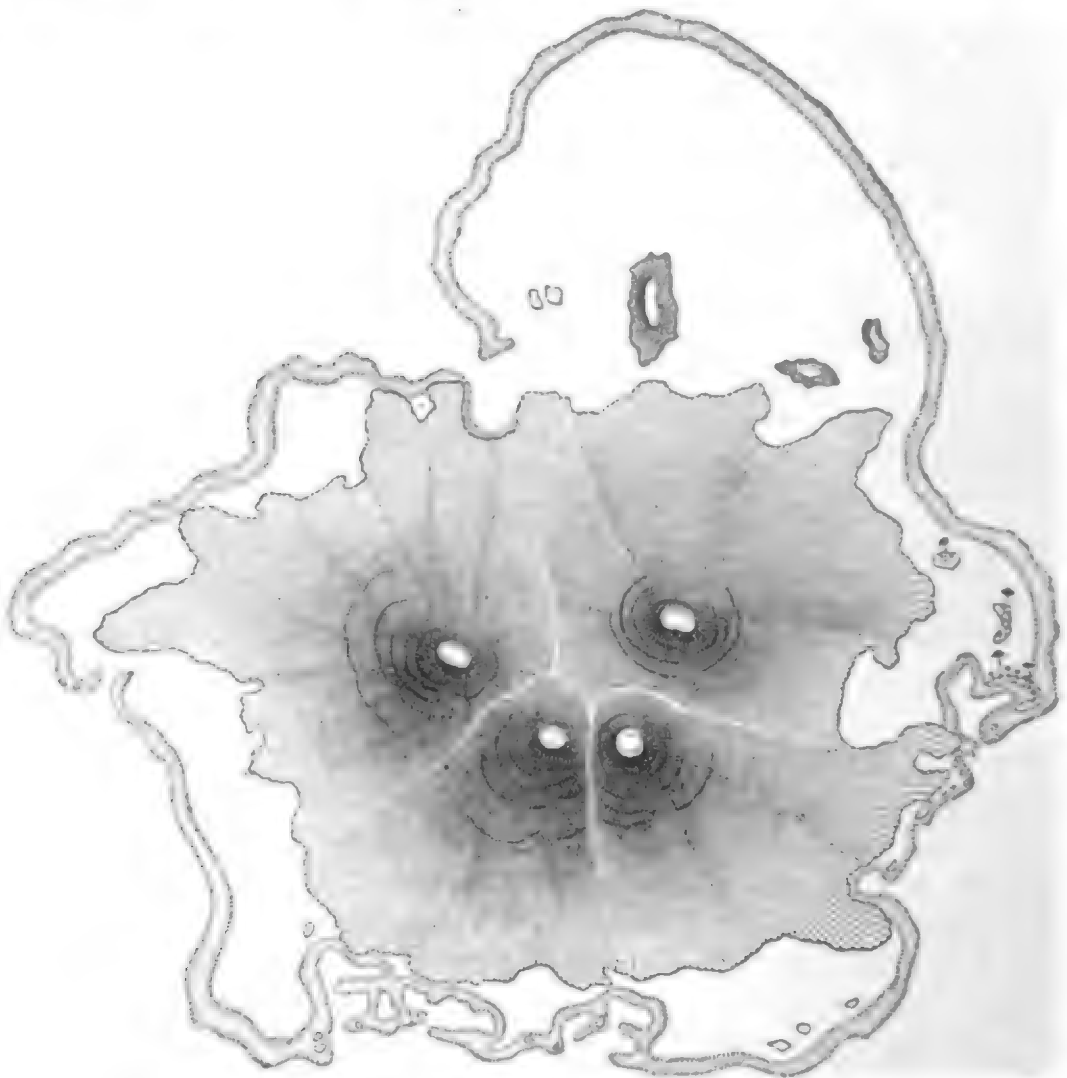
Hohe Insel mit Wall- und Saumriff (nach Dana). Vgl. Text, S. 566.

von dem bekannten amerikanischen Geologen Dana, welche beide längere Reisen in den korallenreichen Gebieten des Stillen Ozeanes unternommen hatten. Obwohl seitdem 40 Jahre verflossen sind, haben doch die von den genannten Forschern geäußerten Ansichten sich fast in allen Punkten bestätigt und nur wenige Modifikationen notwendig gemacht. Wir wählen zum Ausgangspunkte unsrer Betrachtung den einfachsten Fall. Wo in den tropischen Meeren felsige oder sonst dem Fortkommen der Korallen günstige Küsten vorhanden sind, führen die Tiere ihre Bauten im unmittelbaren Anschlusse an den Strand auf. Sie bilden einen Saum um das Land, ein Riff, das vom Grunde bis zum Niveau der tiefsten Ebbe nach aufwärts reicht, nach außen und abwärts sich so weit erstreckt, als die Tiefe des Wassers nicht zu groß für das Gedeihen der Tiere ist, also etwa bis dahin, wo der Meeresboden tiefer als ca. 20 Faden unter der Oberfläche des Wassers liegt; am Rande fällt das Riff sehr steil ab. So entsteht eine von den Korallenbauten gebildete Fortsetzung des Landes gegen das Meer hinaus, ein sogenanntes Saum- oder Küstenriff.

Gebilde dieser Art sind überaus verbreitet in allen warmen Meeren, wenn sie auch aus noch nicht genügend erklärten Gründen einem großen Teile des Atlantischen Ozeanes, selbst in seinen äquatorialen Partien, fehlen. Das nächstliegende und für uns am leichtesten zugängliche Beispiel liefern die Küsten des Roten Meeres, die zum größten Teile mit Küstenriffen eingefaßt sind. Oskar Fraas schildert uns einen Besuch dieser Bildungen in sehr lebendiger Weise.

„Zum erstenmal zeigte sich mir bei Kosseir das unvergeßliche Schauspiel südlichen Lebens, das auf den vorwiegend aus Madreporen, Alcyonen, Milleporen und Asträen

bestehenden Korallenbänken sich entfaltete. Längs des ganzen Roten Meeres zieht an den Ufern in einer Breite von einigen Hundert Schritten das Saumriff hin, an dem die Brandung jahraus jahrein tost, und von dem jede Barke, wohl wissend warum, in respektvoller Entfernung bleibt. Von einer benachbarten Höhe aus erkennt man das Riff an der lichtgrünen Farbe des Wassers, die, durch den Silberstreifen der Brandung getrennt von dem dunkeln Violettblau der Tiefe, sich aufs schärfste abhebt. Wo nun längs der Küste irgend ein Tagwasser in das Meer mündet, das jetzt vielleicht nur einige Stunden im Jahre fließt, aber wohl in frühern Zeiten noch reichlicher floß, da ist das Riff unterbrochen.



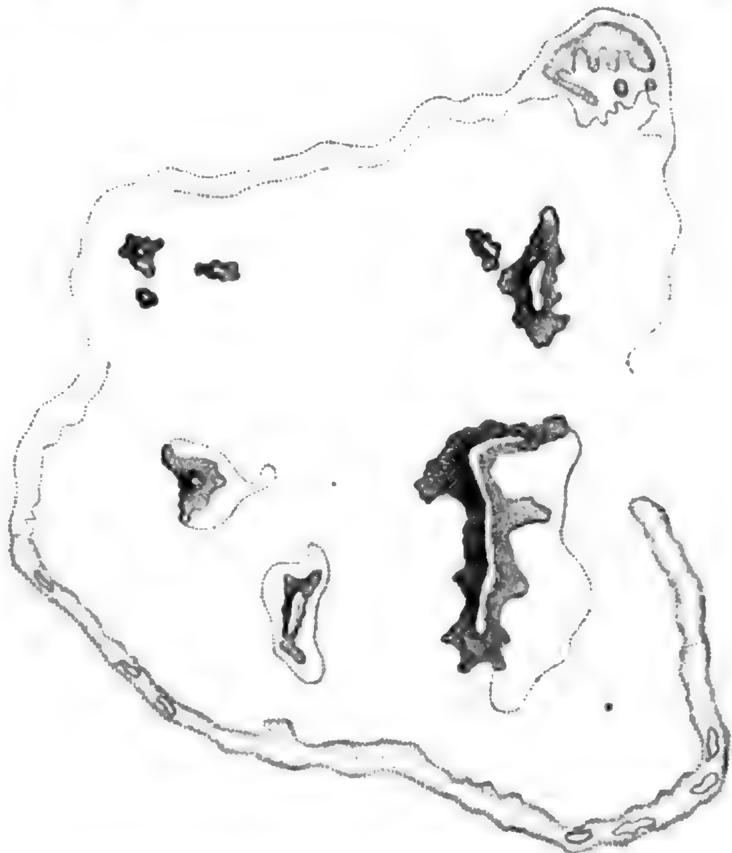
Die Ponape-Insel (nach Darwin). Vgl. Text, S. 566.

Eine Lücke, je nachdem nur von 10 m, aber auch bis zu 100 m und darüber, öffnet sich und bietet der gebrechlichen Barke des Roten Meer-Schiffers den gesuchten Landungsplatz und ruhige Bergeplätze vor den oft recht gewaltigen Stürmen, denen dieses schmale Binnenmeer ausgesetzt ist. Der Schiffer kennt diese Lücken im Riffe wohl alle, hier nur ist es zur Ebbezeit vom Lande aus möglich, wenn auch nicht trocknen Fußes, so doch ohne erhebliche Schwierigkeiten das Riff zu begehen. Ich besuchte es zu El Tôr und hinter Kosseir. Die Breite des Riffes ist wechselnd bis zu einigen Hundert Schritten; in seiner ganzen Breite ist die Koralle abgestanden, nur am Saume, wo es gegen die hohe See abfällt, ist das wunderliche Leben der Stöcke zu beobachten. Ohne zu tauchen, ist es jedoch nicht möglich, sich ihrer zu bemächtigen; dagegen ist das Wasser so wunderbar klar, daß man versucht ist, nach denselben zu greifen, obwohl die Entfernung 4—6 m beträgt. Das Riff ist in seiner


Ransonnet

Breite vom Ufer bis zum Saume einer Kalkfelsenplatte mit rauher Oberfläche zu vergleichen, an der man äußerlich keine Spur von Korallenbau mehr erblickt. Erst wenn man mit dem Hammer ein Stück des körnigen Kalkes abschlägt, sieht man die Korallenstruktur des Felsens. Was für ein Leben nun auf diesem Riffe! Keine nur handgroße Stelle, wo es sich nicht regt und zuckt und die Krebse und Anneliden ebenso wie die Mollusken und Echinodermen gruppenweise nebeneinander ihr Stillleben führen. Die einzelnen Arten, die das Riff beleben, treten immer in solcher Menge auf, daß der Wert des Individuums kein andrer deucht als der des Sandkorns oder des Wassertropfens. Die Individuenmenge ist um so auffallender, als einige Arten stets für sich leben und ihre bescheidenen Lebensbezirke haben, die sie nicht verlassen, und die ihnen auch von Konkurrenten nicht streitig gemacht werden. (S. beigeheftete Tafel „Tierleben auf einem Korallenriff".)

„In jähem Absturze geht es am Rande in die dunkelblaue Tiefe hinab, und ängstlich weicht man der sich brechenden Woge aus, die drohend zum Rande kommt, als wollte sie den Fremdling mit in die Tiefe reißen. Hier am Rande sitzen riesige Holothurien und Aktinien, und zwischen den Ästen der Madreporen klafft die große **Tridacna** (die bekannte Riesenmuschel). Der Fels, welcher bis hierher abgestorben ist, scheint durch und durch Leben zu bekommen, denn soweit man in die Tiefe blickt, zuckt es an ihm tausendfach und spielen die Fühler der Korallen flimmernd in dem ewig klaren Wasser."

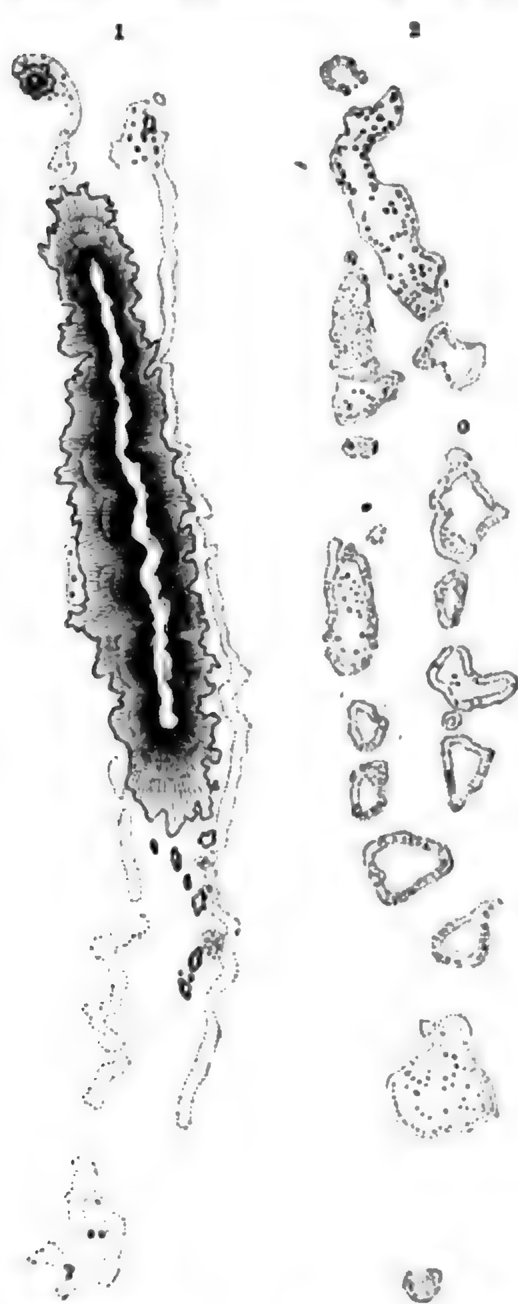


Die Gambier-Inseln (nach Darwin). Vgl. Text, S. 566.

Dieser einfachste Fall ist unschwer zu erklären, er gibt uns den Schlüssel zum Verständnisse der verwickeltern Erscheinungen. Die Korallen haben sich am Strande angesetzt und wuchern von da so weit, als die äußern Verhältnisse es gestatten. Bekanntlich ist das Verhältnis zwischen Meer und Land kein vollständig konstantes; schon innerhalb historischer Zeit machen sich zwar geringe, aber immerhin merkliche Veränderungen in dem Stande der Strandlinie geltend, und ungleich größere Veränderungen haben im Laufe langer geologischer Zeiträume stattgefunden.

Denken wir uns nun das Gebiet eines einfachen Strandriffes, wie wir es soeben von Kosseir kennen gelernt haben, von einer Veränderung im gegenseitigen Niveau von Land und Wasser in der Weise betroffen, daß der Meeresspiegel an der Küste ansteigt und diese selbst sinkt. Natürlich werden dadurch die Lebensverhältnisse der Korallen wesentlich geändert; wie wir wissen, können dieselben nur bis in eine Tiefe von etwa 20 Faden existieren, und an dem Absturze des Saumriffes gegen das offene Meer werden daher die untersten Partien absterben. Aber in demselben Maße, als an der Basis das Leben aufhört, werden an der Oberfläche die Bedingungen günstiger, und soweit die Wasserfläche ansteigt, werden die Korallen nach oben bauen und ihre Kolonien immer bis zum jeweiligen Stande der tiefsten Ebbe hinaufschieben. Dadurch ist also die Möglichkeit gegeben, daß die Dicke eines

Riffes allmählich bedeutend größer wird, als sie ursprünglich war, und wenn im Verlaufe eines sehr langen Zeitraumes der Meeresspiegel sehr erheblich steigt und das Land einsinkt, so werden Korallenkalke von außerordentlicher Mächtigkeit gebildet werden können. Es wird jedoch kein ganz gleichmäßiges Aufbauen des Riffes in seiner ganzen Breite eintreten. Wir haben aus der Schilderung von Fraas gesehen, daß der nach der Küste zu gelegene Teil des Riffes abgestorben ist, und daß ein üppiges Wachstum der Korallen nur am Rande stattfindet, gegen welchen die Wogen sich fortwährend in gewaltiger Brandung brechen. Allerdings ist das nicht überall in so hohem Grade der Fall, sondern es bilden sich auch gegen die Küste zu fortwährend Kalkablagerungen; aber in voller Stärke findet die Zunahme doch nur an der Grenze gegen das stark bewegte offene Meer statt. Die Folge davon ist, daß meist nur hier an der äußersten Grenze das Riff bis ganz hinauf an den Wasserstand der Ebbe sich aufbaut, während es gegen die Küste zu in seinem Wachstume zurückbleibt. Es bildet sich also ein äußerer Wall, an dem sich die Wellen brechen, und zwischen diesem und dem Lande bleibt ein meist ziemlich seichter, von keinem Wellenschlage bewegter Meeresarm, eine Lagune, innerhalb deren selbst die Küste wieder von einem Saumriffe eingefaßt sein kann (s. Abbildung, S. 563).

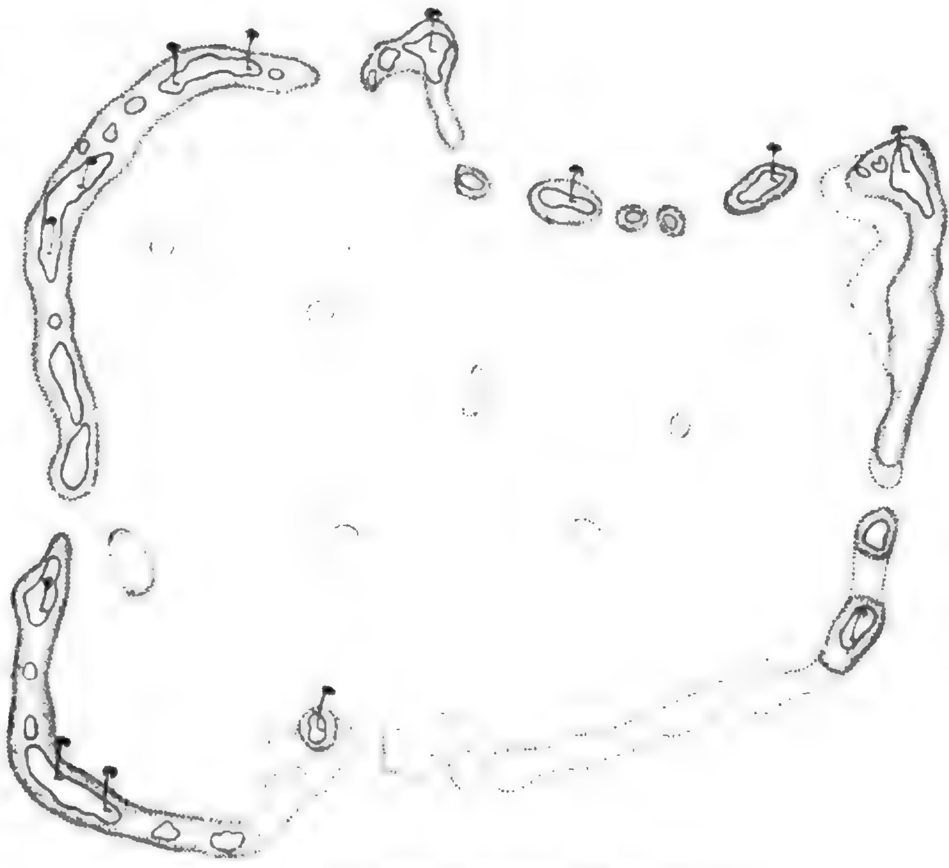


1 Neukaledonien mit seinen Barrierriffen (nach Darwin). — 2 Die Malediven (nach Darwin). Vgl. Text, S. 567.

Diese vom festen Lande durch eine Lagune getrennten Wall- oder Barrierriffe haben ebenfalls große Verbreitung; am großartigsten sind sie an der nordöstlichen Küste des australischen Kontinentes, an welcher ein Wallriff in einer Länge von ungefähr 1100 engl. Meilen in einer mittlern Entfernung von 20 bis 30 Meilen vom Lande sich hinzieht. Das Riff von Neukaledonien hat eine Länge von 400 engl. Meilen (s. Abbildung 1, nebenstehend), und neben diesen gewaltigsten Repräsentanten finden sich zahlreiche andre in den tropischen Teilen des Stillen und des Indischen Ozeanes und vereinzelte auch im Atlantischen Meere. Häufig sind es nur sehr kleine Inseln, eine unbedeutende aus dem Meere hervorragende Vulkangruppe, die in dieser Weise von den Korallenbauten umgeben wird (s. die Karte der Ponape-Insel, S. 564). Geht nun an einem solchen Punkte die Verschiebung der Strandlinie nach aufwärts und das Untertauchen des Landes noch weiter vor sich, so wird der Abstand zwischen Riff und Insel immer größer, die Lagune immer breiter, die Insel selbst immer kleiner, während die Korallen ihren Wall Schritt für Schritt nach oben bauen (s. die Karte der Gambier-Inseln, S. 565). Allmählich wird die Überflutung des zentralen Eilandes so weit fortschreiten, daß nur noch einzelne Berggipfel über das Wasser hervorragen; endlich verschwinden auch sie unter dem ansteigenden Meere, aber das Riff wächst weiter, es bildet jetzt einen meist von Kanälen durchbrochenen Ring, der nur eine Lagune

umschließt (s. das untenstehende Kärtchen des Peros-Banhos-Atolles), und damit geht die merkwürdigste und extremste Ausbildung der Riffe vor sich, die der **Atolle** oder Lagunenriffe, die namentlich im Stillen und Indischen Ozeane in zahlloser Menge auftreten und zu den seltsamsten Erscheinungen auf der Erde gehören.

In etwas andrer Weise wird sich der Vorgang gestalten, wenn nicht eine kleine Vulkaninsel, sondern eine verhältnismäßig beträchtliche, von Barrierriffen umgebene Landmasse wie Neukaledonien allmählich untertaucht. Die Unterbrechungen der Barre sind hier so groß, die Abstände zwischen den beiden Rändern der sich bildenden Innensee so bedeutend, daß kein zusammenhängender Ringwall sich bilden kann und auch im Innern die Brandung energisch genug wirkt, um das Gedeihen der Riffkorallen und deren energisches Wachstum zu begünstigen. Es kann infolgedessen das Barrierriff in eine Anzahl selbständiger Atolle zerfallen, welche aber in ihrer Gesamtheit noch den Umriß der alten Insel festhalten. Auch im Innern werden, Bergen der versunkenen Insel entsprechend, sich Lagueninseln bilden, und selbst sehr große Atolle erster Ordnung, die sich auf diese Weise gebildet haben, können dann wieder in kleine Atolle zerfallen. Diese äußerst verwickelten Erscheinungen sehen wir z. B. an dem riesigen Korallenarchipel der Malediven, westlich von Ceylon: die 17 Atolle erster Ordnung, welche in mehr als 12,000 kleine Inseln zerfallen, reichen vom 9.° nördlicher Breite bis zum 15.° südlicher Breite und bezeichnen offenbar, wie Darwin nachgewiesen hat, die Stelle einer großen versunkenen Insel, die ursprünglich wie Neukaledonien von einem Wallriffe umgeben war (s. Abbildung 2, S. 566).

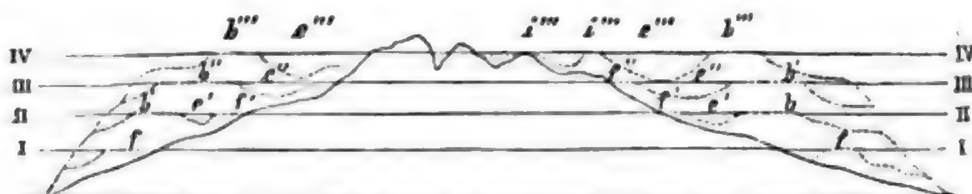

Das Peros-Banhos-Atoll (nach Darwin).

Die schematische Darstellung auf S. 568 oben mag uns den Vorgang der Atollbildung versinnlichen. Die in kräftigen Linien ausgeführte Bergzeichnung repräsentiert den Durchschnitt durch eine beliebige Insel, die mit I, II, III, IV bezeichneten Horizontallinien versinnbildlichen die allmählich immer höher ansteigenden Stände des Meeresspiegels, die fein punktierten Linien bedeuten die Korallenriffbildungen, wie sie sich infolge dieser Veränderung des Wasserniveaus dargestellt haben.

Beim Wasserstande I hat sich ein einfaches Saumriff f gebildet; die Strandlinie steigt nun vielleicht im Laufe sehr vieler Jahrtausende bis II an, und die Korallen bauen entsprechend nach. Es bleibt beiderseits zwischen dem äußersten Riffe b und der Insel eine Lagune e′, innerhalb welcher sich noch dicht an der Insel ein inneres Saumriff f′ angesetzt

hat. Indem dann das Wasser weiter bis III und IV steigt, bildet sich auf der linken Seite ein einfaches Barrierriff b'', b''', während rechts mit dem Untertauchen niedrigerer Berge der Insel über diesen neue Riffe i''' entstehen, so daß wir hier mehrere Barrieren hintereinander haben. Würde das Wasser noch um ein Geringes ansteigen, so würde es auch die höchste Spitze der ursprünglichen Insel bedecken, und es entstände ein echtes Atoll (s. untenstehende Abbildung).

Wir haben bis jetzt nur gesehen, daß Korallenbauten der eben geschilderten Art unter den angegebenen Verhältnissen entstehen **können**; daß sie sich aber auch wirklich auf diese



Schematische Darstellung der Bildung eines Barrierriffes um eine Insel (nach Dana). Vgl. Text, S. 567.

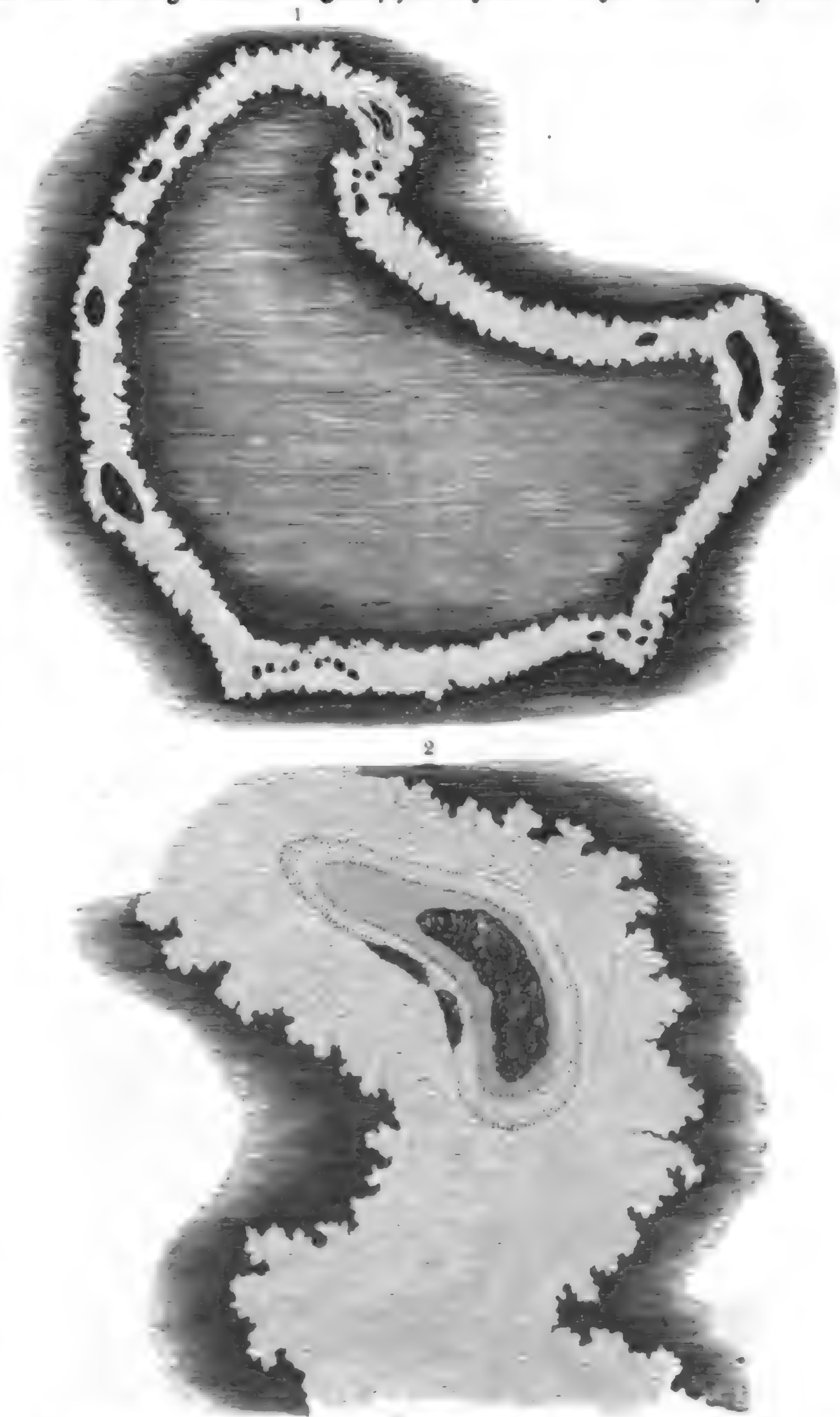
Weise gebildet haben, geht aus der Unmöglichkeit jeder andern Erklärung hervor. Man hat allerdings in neuerer Zeit andre Deutungen versucht und hat darauf hingewiesen, daß sich beim Steigen des Meeresbodens oder beim Sinken des Wasserspiegels auf submarinen Höhen verhältnismäßig rasch kalkiges Sediment absetzt, welches jedoch nicht von riffbildenden Korallen, sondern von Tiefseetieren gebildet wird; erst wenn die sich aufbauende Bank dem


Ansicht eines echten Atolles (nach Dana).

Wasserspiegel auf etwa 20 Faden nahegekommen ist, beginnen die Riffkorallen ihr Werk, so daß also diese nur die Krönung der Riffe bilden, die tiefern Teile der letztern jedoch andern kalkabsondernden Tieren ihre Entstehung verdanken.

Eine handgreifliche Entscheidung dieser Frage wäre natürlich nur durch Anstellung einer Tiefbohrung auf dem Walle eines Atolles möglich, allein es bedarf kaum eines so schwierigen und kostspieligen Experimentes, um die Unmöglichkeit der zuletzt angedeuteten Ansicht nachzuweisen; hierfür genügt es, das submarine Relief der Atolle ins Auge zu fassen. Alle die in großartigem Maßstabe ausgeführten Tiefseeuntersuchungen der letzten Jahrzehnte haben übereinstimmend nachgewiesen, daß alle durch Organismen außerhalb des Brandungsbereiches gebildeten Kalkabsätze durchaus aus losem Materiale bestehen, und daß der von demselben bedeckte Meeresboden stets horizontal oder fast horizontal ist; die einzige Ausnahme von dieser Regel bilden die Bauten der Korallen, die sich sehr häufig in jähster

Steilheit erheben. Wir kennen absolut keine Bildungsweise für kompakte submarine Kalke mit steiler Böschung in einer Tiefenregion, in welcher riffbildende Korallen nicht mehr fortkommen; es fällt aber z. B. das Keeling-Atoll im Indischen Ozeane bis zu einer Tiefe von mehr als 2000 Fuß unter dem Wasserspiegel mit einer Neigung von etwa 50° ab, und andre Beispiele für steilen Absturz in größere Tiefen als die von Riffkorallen bewohnten liegen in beträchtlicher Zahl vor. Alle diese Fälle sind für jede andre Theorie als die von Darwin und Dana absolut unerklärlich und widerlegen die vorhin erwähnten Annahmen, welche lokale Sedimentanhäufung aus großer Tiefe bis in den Bereich der Riffkorallen voraussetzen, von selbst.



1 Stewart-Atoll (nach F. v. Hochstetter). Das Meerwasser ist dunkel schraffiert, das Riff hell, die über den Meeresspiegel hervorragenden, mit Vegetation bedeckten Inseln sind schwarz; 2 ist ein kleiner Teil des Riffes, in größerm Maßstabe gezeichnet.

Die Korallen haben das Material zum Aufbaue der Riffe größtenteils geliefert, aber die ganze Masse besteht keineswegs aus einem Haufwerke von Korallenstöcken, deren Form und Struktur noch deutlich zu erkennen sind. Schon im Innern äußerlich noch lebender Korallenkolonien können Veränderungen vor sich gehen, indem das Meerwasser den Kalk der abgestorbenen Teile umkristallisiert, so daß die organische Struktur verloren geht. Die Wellen, welche fortwährend mit furchtbarer Gewalt gegen die Außenseite des Riffes anschlagen, brechen Äste und Stücke von den Korallen ab und werfen sie samt Muscheln, Echinodermen und andern Tieren, die zwischen den Ästen jener leben, auf die flache Oberseite des Riffes. Besonders starke Stürme und noch mehr die gewaltigen Erdbebenwellen, die über den Ozean weggehen, reißen sogar

große Blöcke los und schleudern sie auf das Riff. Jede folgende Woge rollt diese Stücke hin und her und zerkleinert sie zu feinem Gruse, der allmählich erhärtet und den sogenannten **Riffstein**, einen so dichten, kompakten Kalk liefert, daß man ihn für ein Gestein einer alten Formation, nicht für das jüngste Produkt der Thätigkeit des Meeres halten möchte. Stellenweise bilden sich auch Konglomerate, indem abgerollte Kalkstücke durch festes Bindemittel miteinander verkittet werden. Sehr wesentlich befördert wird der Prozeß der Gesteinsbildung, dessen Hauptfaktor der Wellenschlag des Meeres ist, durch die Thätigkeit einer Menge von Tieren: zahllose bohrende Muscheln, Würmer, Schwämme führen ihre Gänge in die Korallenstöcke und zermahlen dabei deren Material zu feinstem Schlamme; gewisse Fische leben ausschließlich von den Korallentieren, und indem sie deren Stöcke gleichsam abweiden, zermalmen sie mit ihren Zähnen die kalkigen Ränder der Zellen; in derselben Weise sollen auch manche Holothurien wirken. Alle diese Tiere sind mit der Zerkleinerung des Kalkes und der Lieferung von Material für die Bildung des Riffsteines beschäftigt. Dieser setzt fast den ganzen Bau zusammen, und nur an den äußersten Rändern befinden sich die lebenden Stöcke, die vermöge ihres fortwährenden Wachstumes die Zerstörung des Riffes durch die Meeresbrandung verhindern. Oft ist selbst der Rand nicht ganz mit wachsenden Stöcken bedeckt, sondern auch hier sind bisweilen weite Strecken abgestorben, so daß dann nur stellenweise üppiges Leben vorhanden ist.



Die Pfingstinsel (nach Darwin). Vgl. Text, S. 571 und 573.



„Der Blumentopf“, letzter Rest einer vom Meere zerstörten Koralleninsel am Stewart-Atolle (nach F. v. Hochstetter). Vgl. Text, S. 571.

Das feine Kalkzerreibsel wird nicht nur auf die Oberfläche des Riffes geschwemmt, es sinkt auch an dessen Außenseite nach abwärts; hier setzt es sich in Höhlungen und Unebenheiten fest und bedeckt die Flanken mit kalkigem Sande und Schlamme. Neue Lagen desselben Stoffes lagern sich darüber, soweit die Neigung des Abfalles das Liegenbleiben von Sediment gestattet, und so bilden sich an der Außenseite des Riffes geneigte Schichten von Kalk, sogenannte „Übergußschichten“, welche den Bau mantelförmig umgeben.

Indem Wind und Wellen losgerissene Fragmente von Korallen, ganze Blöcke von Riffstein, ferner Muscheln, Echinodermen, feinen Kalkgrus von den Flanken auf die Oberseite des Riffes werfen, geben sie Anlaß zu wichtigen Neubildungen, die namentlich für die ringförmigen Atolle sehr wichtig sind. Die bauende Thätigkeit der Korallen und der sie begleitenden marinen Tiere und Pflanzen kann kaum über den Stand der tiefsten Ebbe

hinausreichen und nie zur Bildung von festem Lande unmittelbar Anlaß geben. Dies geschieht nur durch die Trümmer, welche die Brandung auf die Rifffläche wirft; über den breiten Rücken dieser letztern tragen die Wogen die Kalkbruchstücke und lagern sie dort ab. So bilden sich bald größere, bald kleinere Partien von aufgehäuftem Detritus, die so hoch reichen, als die stärkste Sturmflut noch Material emporzupeitschen vermag. Aber noch höher können die festen Massen steigen, denn, wenn das Meer sich wieder in sein normales Niveau zurückgezogen hat, ist der Wind für sich allein thätig und weht den feinen Kalksand dünenartig zusammen. Die losen Massen erhärten dann allmählich durch die Thätigkeit des in ihrem Innern zirkulierenden Wassers, und so entstehen jene berühmten



Die Lagune des Oatafuh-Atolles (nach Dana). Vgl. Text, S. 573.

Koralleninseln, welche bald nur vereinzelt auf verschiedenen Teilen der Atollfläche stehen, bald einen großen Teil ihres Ringes bedecken und in seltenen Fällen, wie z. B. auf der S. 570 abgebildeten Pfingstinsel, den ganzen Kreis in festes Land verwandeln. Das Meer, welches diese Schöpfung aus seinem Grunde hervorgebracht hat, sorgt auch dafür, daß das neugebildete Land nicht kahl bleibe; Strömungen bringen die Samen verschiedener Pflanzenarten, besonders Kokosnüsse, herbei, die Keime gehen auf, und allmählich bekleidet sich der grell weiße Kalkfels mit üppiger Vegetation. Tausende von Menschen bewohnen die zahllosen Koralleninseln des Stillen und des Indischen Ozeanes auf diesen schmalen Streifen kalkigen Landes, die nur durch die fortwährende Wachstumsthätigkeit der Korallen und Nulliporen ihr Dasein fristen und ohne den Schutz dieser winzigen Organismen in wenigen Jahren vom tosenden Ozeane wieder vernichtet wären. Aber nicht immer ist dieser Schutz ausreichend, manche Insel ist im Laufe der Zeit vom Meere wieder verschlungen worden, so daß bisweilen nur noch schwache Ruinen denselben vorhanden sind (s. die Abbildung „Der Blumentopf", S. 570). Von mancher sind die Einwohner weggespült worden, wenn

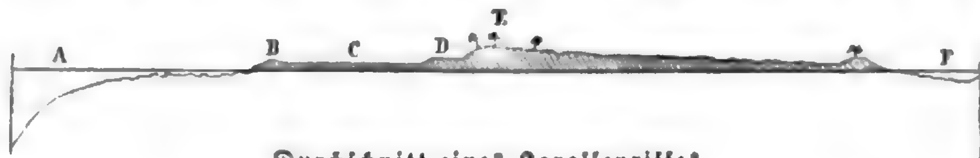
gleichzeitig mit einer Springflut ein ausnahmsweise heftiger Orkan eintrat; vor allem aber werden die gewaltigen Erdbebenwellen gefährlich. Bei sehr starken Erdstößen, wie sie namentlich an der Westküste von Südamerika vorkommen, gerät auch das Wasser des Meeres in Bewegung, und einige breite, schwere Wogen wälzen sich dann über die ganze Ausdehnung des Stillen Ozeanes, mit vernichtender Gewalt branden sie an die Koralleninseln heran, viele von ihnen überflutend und Tod und Verwüstung verbreitend, bis die Kraft der Wellen sich an den fernen Küsten von Australien, von China und Japan bricht.

Der Umriß und die Größe der Atolle sind sehr verschieden; manche sind kreisförmig, einige elliptisch oder von ganz unregelmäßiger Gestalt, einige haben einen Durchmesser von wenigen (englischen) Meilen, und bei andern steigt derselbe auf 30, 60, ja bis zu 80 engl. Meilen. So gewaltig aber auch in manchen Fällen diese Dimensionen sind, so gering ist die



Durchschnitt eines Korallenriffes (nach Dana). Das Wasser im Stande der Ebbe gezeichnet; links offenes Meer, rechts die Lagune.

Breite des eigentlichen Riffes, welches die Laguneim Innern vom offenen Meere trennt; in der Regel hat es nur 1/4 und selten mehr als 1/2 engl. Meile Durchmesser. An dem äußersten, von der stärksten Brandung heimgesuchten Rande (A der untenstehenden Abbildung), der nur bei tiefster Ebbe genau untersucht werden kann, besteht das Riff vorwiegend aus großen Stöcken Poriten und Milleporen, zwischen welchen tiefer eingeschnittene Kanäle verlaufen. Diese Region wird gegen das Innere des Atolles in sehr vielen Fällen von einem schmalen Streifen begrenzt, auf welchem Kalkalgen üppig gedeihen und fast für sich allein



Durchschnitt eines Korallenriffes.

einen als Wellenbrecher für die Erhaltung des Riffes höchst wichtigen Wall von etwa 1 m Höhe rings um das Atoll bilden (B). Hinter diesem Walle liegt die sogenannte Ebene des Riffes (C), eine Fläche von horizontalem Korallengesteine, das die organische Struktur fast ganz verloren hat; nur bei Flut wird sie vom Wasser überspült. In ihren Höhlungen entwickelt sich reiches organisches Leben. Auf dieser Ebene bilden sich nun die Inseln, meist 200—300 m vom Rande des Riffes entfernt. Zunächst erhebt sich in der Regel ein senkrechter Absturz von etwa 2 bis 3 m Höhe, der bei Hochwasser noch umwaschen wird (D), und über ihm steigt eine bisweilen auch zu festem Gesteine erhärtete Anhäufung von Fragmenten und Korallensand auf, zu der nur bei starken Stürmen das Meer emporreicht; hier entwickelt sich die Landvegetation, und hier ist die Wohnstätte der Insulaner, die auf diesem schmalen Streifen Landes mitten im brandenden Meere ihre Wohnstätte aufgeschlagen haben (E).

Was dem Geologen, dem das seltene Glück zu teil wird, seinen Fuß auf eine dieser Inseln zu setzen, in hohem Grade auffällt, ist das Aussehen der Gesteine, welche zum Teile sich als ganz dichte Kalke präsentieren, wie sie sonst nur in Ablagerungen alter Formationen auftreten, und wie man sie in einem Terrain, das eben erst dem Meere neugebildet entstiegen ist, nicht erwartet. Aber nicht nur die Beschaffenheit, auch die Lagerung des Kalkes ist oft eine sehr befremdende. Der Wind weht den losen Kalksand über die Inseln hin und lagert

ihn wieder ab, es bilden sich Dünen, und jeder neue Sturmwind legt auf die vorhandene Böschung derselben eine neue Lage des feinen kalkigen Materiales. So entstehen Hügel von fein zerriebenem Korallensande, die eine stark geneigte Schichtenlage zeigen, und durch die Wirkung des durchsickernden Wassers erhärten diese steil einfallenden Bänke zu dichtem Kalke. In hohem Grade auffallend entwickelt ist diese Erscheinung auf den Bermudasinseln; die untenstehende Abbildung gibt eine Ansicht solcher vom Winde zusammengeblasener Kalkschichten.

Nach Überschreitung des Riffes gelangt man an die Lagune, einen glatten, ruhigen Wasserspiegel (s. Abbildung, S. 571). Auf ihrem Boden finden sich auch Korallen, jedoch



Ursprünglich geneigte Riffkalkschichten von den Bermudas (nach Wyville Thomson).

meist andre Arten von zarterm Baue als an der brandenden Außenseite. Ein überaus reiches und üppiges Tierleben von zahllosen Muscheln und Schnecken, von Stachelhäutern 2c. hat sich in dem warmen, vor stürmischer Bewegung gesicherten Becken angesiedelt, dessen Boden teilweise von feinem Kalksande oder -Schlamme bedeckt ist. Nur selten ist die Lagune, wie es bei der S. 570 abgebildeten Pfingstinsel der Fall ist, vom Riffe in einem ganz geschlossenen Ringe umsäumt. In der Regel ist das Riff von Kanälen durchbrochen, die oft breit und tief genug sind, um Schiffen die Einfahrt in den sichern Ankerplatz der Lagune zu gewähren. Die Entstehung dieser Kanäle ist auf die alte Zeit zurückzuführen, in welcher noch eine zentrale Insel, von einem Barrierriffe umgeben, in der Mitte vorhanden war; den einstigen Bächen und Flüssen, die ihr süßes Wasser und ihren Schlamm ins Meer ergossen, entsprechen Lücken im Riffe, und diese haben sich dann auch späterhin erhalten, als die zentrale Insel überflutet und das Ganze in ein Atoll verwandelt war.

Kalkbildung durch Foraminiferen. Weißer Tiefseeschlamm.

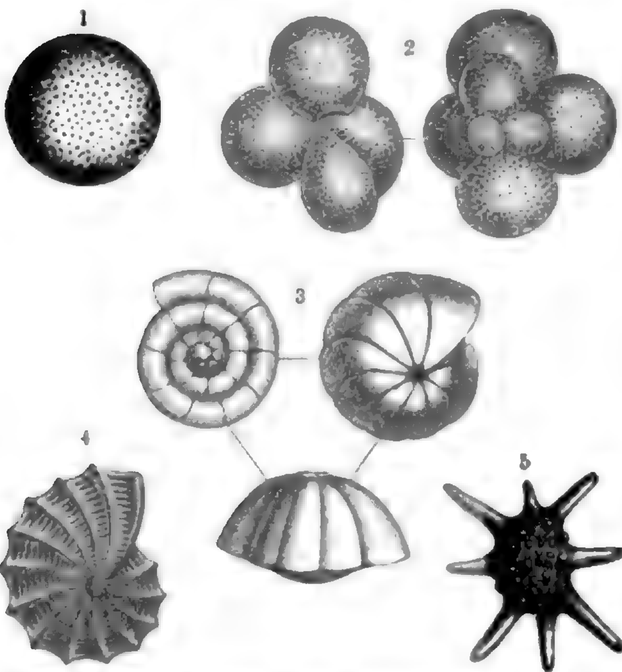
So gewaltig die Bauten der Korallen sind, und so große Massen von Kalkstein sie auch liefern, so ist doch ihr Vorkommen ein beschränktes, und namentlich das Auftreten von sehr mächtigen Ablagerungen des Riffsteines ist, wie wir gesehen haben, nur beim Zusammentreffen ganz besonders günstiger Bedingungen möglich. So bedeutend also auch manche



Verschiedene Foraminiferen, stark vergrößert. — 1 Lagena — 2 Dentelina — 3 Nodosaria — 4 Cristellaria — 5 Textularia — 6 Frondicularia.

Vorkommnisse dieser Art aus alter oder neuer Zeit sein mögen, bilden sie doch nur lokale Anhäufungen. Ganz anders verhält es sich dagegen mit den kalkigen Absätzen, welche die Schalen von weit niedriger als die Korallen organisierten Tieren, den Foraminiferen, (s. beistehende Abbildungen) bilden.

Lange Zeit hatte man keine Ahnung von der Existenz der zahllosen Mengen dieser Tierchen. Im Jahre 1731 entdeckte der italienische Naturforscher Beccari im Meeressande an der Küste von Ravenna unter der Lupe eine ungeheure Menge kleiner, überaus zierlicher Kalkschälchen; bald fand man sie auch an verschiedenen andern Punkten, und allmählich überzeugte man sich, daß sie zu den verbreitetsten Gebilden in allen Meeren, vielleicht mit Ausnahme derjenigen der Polargegenden, gehören. Von der kolossalen Menge, in welcher sie vorkommen, mag die Angabe einen Begriff geben, daß nach einer sehr gewissenhaften Schätzung von Max Schultze der Sand vom Molo di Gaeta bei Neapel nach Absiebung der größern Partikeln in einer Unze etwa $1^1/_2$ Million solcher Gehäuse enthält, die ungefähr die Hälfte der ganzen Masse des Sandes ausmachen. Viel höhere Schätzungen, die man bisweilen liest, scheinen ungenau und übertrieben.



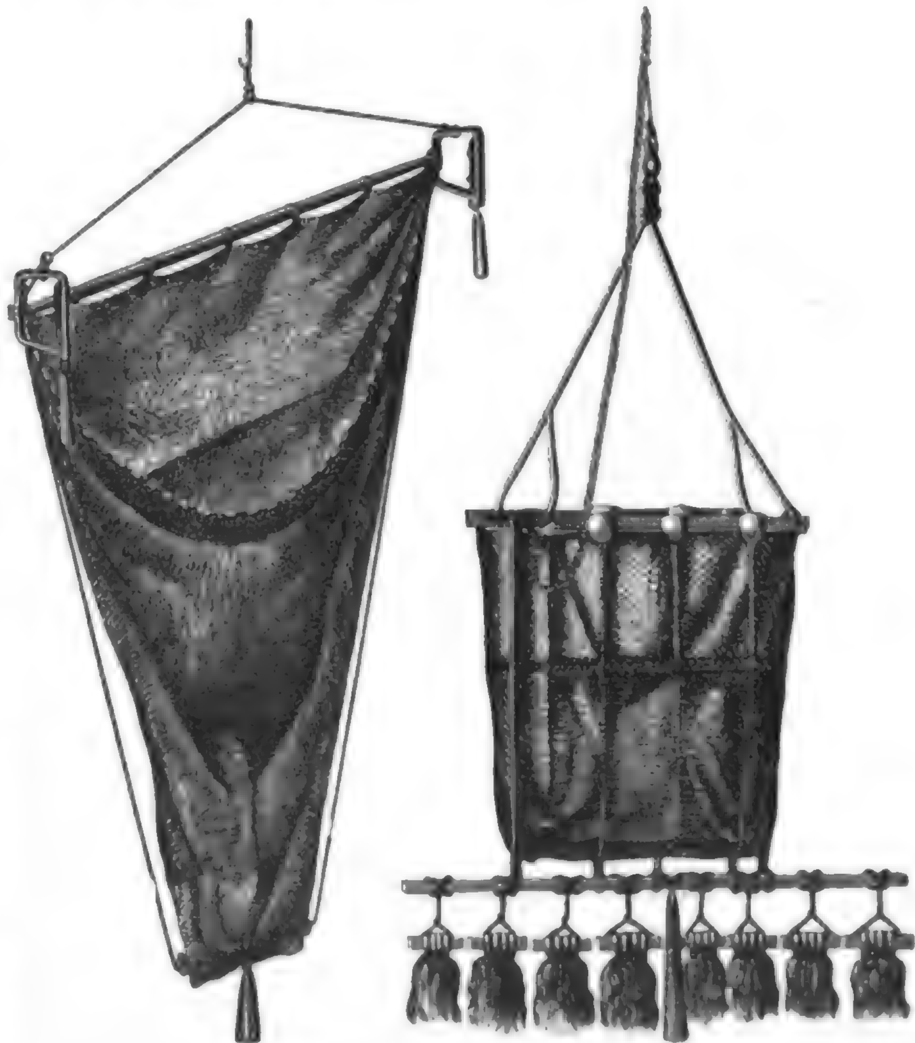
Verschiedene Foraminiferen, stark vergrößert. 1 Orbulina — 2 Globigerina — 3 Rotalia — 4 Polystomella — 5 Calcarina. Vgl. Text, S. 581.

Nahe der Küste finden sich die Foraminiferenschalen fast überall mit Sand und Schlamm gemischt, aber sie bilden hier doch in der Regel nur einen verhältnismäßig geringen Teil des Sedimentes. Dagegen besteht weiter entfernt vom Strande, in jenen Regionen, in welche kein oder nur sehr wenig mechanisches Sediment vom Ufer aus gelangt, die den Meeresboden bedeckende Ablagerung über sehr große Strecken hin vorwiegend aus den Gehäusen dieser kleinen Tiere.

Schon seit längerer Zeit hatte man beobachtet, daß an verschiedenen Stellen des Ozeanes das Senkblei aus großen Tiefen Proben eines großenteils aus Foraminiferen

bestehenden Absatzes heraufbrachte, und ahnte daher schon die wichtige Rolle, welche diese Tiere in der Sedimentbildung spielen; aber erst den systematischen Tiefseeuntersuchungen der Neuzeit war es vorbehalten, die überraschend großartige Bedeutung derselben mit voller Bestimmtheit darzuthun. Zwar waren manche schätzenswerte Beobachtungen namentlich bei den Sondierungen gemacht worden, welche der Legung des transatlantischen Telegraphenkabels vorangingen; aber reichliches Material für die Beurteilung der Beschaffenheit des Meeresbodens in großen Tiefen erhielt man erst, als man in den Abgründen des Ozeanes mit dem Schleppnetze zu arbeiten begann.

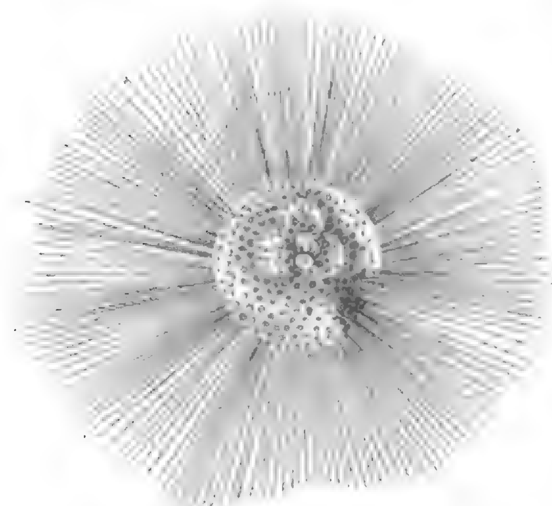
Das Verdienst, in dieser Richtung Bahn gebrochen zu haben, gebührt den Schweden und Norwegern, namentlich den ausgezeichneten Forschern Sars und Torell. Ihre Untersuchungen verbreiteten wie mit einem Zauberschlage Licht über die Natur der großen Meerestiefen und gaben die Anregung zu den zahlreichen und umfassenden Untersuchungen ähnlicher Art, welche seither angestellt worden sind. Zunächst wurden in Nordamerika Expeditionen ausgeschickt, um den westlichen Teil des Atlantischen Ozeanes von Westindien nach Norden hin zu untersuchen; von Deutschland aus wurde eine sehr gründliche Erforschung der Nord- und Ostsee in Angriff genommen, weitaus die großartigsten Unternehmungen aber gingen von England aus, wo Carpenter, Gwyn Jeffreys und vor allen Wyville Thomson die wissenschaftliche Leitung der Expeditionen in Händen hatten. Mehrfache Fahrten der Schiffe Lightning und Porcupine lehrten den Boden des Atlantischen Meeres von den Faröern bis Gibraltar und jenen des Mittelmeeres bis Malta kennen; vor allem aber war es die epochemachende Expedition des Challenger, welche unter W. Thomson, mit einem ganzen Stabe von Naturforschern und aufs vollständigste in jeder Beziehung ausgerüstet, drei Jahre hindurch den Atlantischen und den Stillen Ozean bis ins Südliche Eismeer untersuchte. Ihnen schließt sich dann die Reise des deutschen Kriegsschiffes Gazelle an, das seine Forschungen im Atlantischen, Stillen und Indischen Ozeane anstellte, ferner die Fahrt des amerikanischen Schiffes Tuscarora durch den Stillen Ozean, welche allerdings beide keine Schleppnetzuntersuchungen in großen Tiefen mit ihren Sondierungen verbanden.



Schleppnetze. Vgl. Text, S. 577.

Wir können die Gesamtheit der erzielten Resultate noch nicht überblicken, da die Zeit zur Verarbeitung der ungeheuern mitgebrachten Materialien noch nicht ausreichend war; doch liegen zahlreiche vorläufige Berichte vor, welche eine Reihe wichtiger Thatsachen lehren.

Lange schon sind Schleppnetzuntersuchungen in geringen Meerestiefen gemacht worden. Vor allen wichtig sind die Studien von E. Forbes in den englischen Gewässern und im Mittelmeere; er zeigte, daß verschiedene Tierformen speziell in bestimmten Tiefen vorkommen, er unterschied verschiedene Regionen vom Strande bis in die größten Tiefen, die er mit seinen Apparaten erreichen konnte, und legte hierdurch den Grund für einen sehr wichtigen Zweig der Tiergeographie, der auch auf die Entwickelung der Geologie und Paläontologie großen Einfluß übt. Leider hat sich jedoch in die Auffassung dieses ausgezeichneten Mannes eine irrtümliche Ansicht eingeschlichen, welche von seinen Nachfolgern verallgemeinert und dadurch dem Fortschritte richtiger Erkenntnis lange Zeit hinderlich wurde. Das Mittelländische Meer, in welchem Forbes die meisten seiner Forschungen anstellte, ist zum größten Teile in seinen tiefern Partien unbewohnt, es beherbergt in denselben wenigstens auf große Strecken kein tierisches Leben. Der Grund dieser merkwürdigen Erscheinung ist noch nicht ganz sichergestellt, vermutlich aber liegt er darin, daß in dem geschlossenen Binnenbecken mit seiner schwachen und seichten Ausmündung an der Meerenge von Gibraltar keine genügende Zirkulation des Wassers in den tiefern Teilen vorhanden und daher nicht die nötige Menge von Luft für die Existenz von Organismen enthalten ist. Schon Forbes war der Ansicht, daß derselbe Mangel an organischem Leben sich entfernt von der Oberfläche auch in andern Meeren finden werde, und allmählich verbreitete und befestigte sich die Meinung, daß die größern Meerestiefen überhaupt gänzlich unbewohnt seien. So fest stand die Überzeugung von dem vollständigen Fehlen tierischen Lebens in den Abgründen des Ozeanes, daß eine Anzahl entgegenstehender Beobachtungen einfach als unzuverlässig bezeichnet und vielfach ignoriert wurde.



Mit Kalknadeln bedeckte Orbulina (nach Bütschli). Vgl. Text, S. 579.

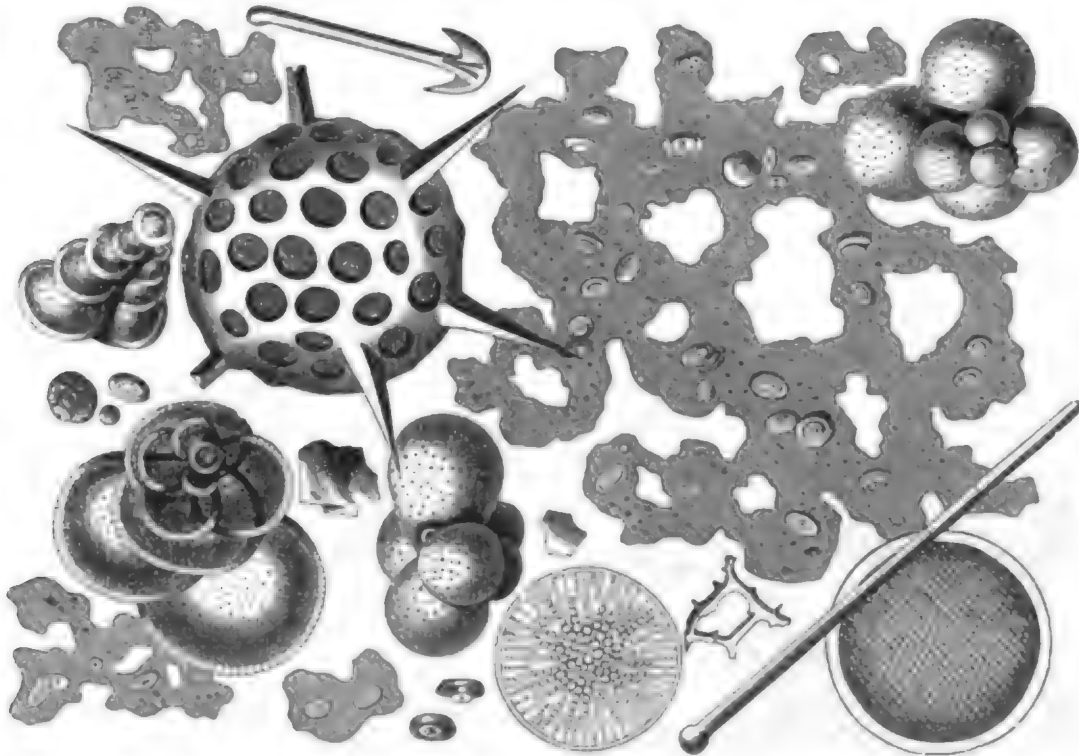
Diesen sowie viele andre Irrtümer haben die neuern Untersuchungen beseitigt. Mit denselben beginnt eine neue Aera für die Geologie wie für die physische Geographie der Meere, und so rasch häufen sich die interessanten Erfahrungen und die wichtigen Folgerungen aus denselben, daß wir heute die ganze Tragweite dieser Forschungen noch gar nicht ermessen können.

Die Aufgaben, welche bei den großen Expeditionen der letzten Jahre verfolgt wurden, sind sehr verschiedener Art; die Zusammensetzung, das spezifische Gewicht, der Gasgehalt und die Temperatur des Meerwassers an der Oberfläche und am Grunde, die Tiefe des Ozeanes, das Relief seines Bodens, die Absätze, welche diesen bedecken, und die Organismen, welche sich finden, waren zu untersuchen und eine lange Reihe andrer Fragen zu beantworten. Für den Gegenstand, der hier in Rede steht, war namentlich die Untersuchung mit dem Schleppnetze von großer Wichtigkeit.

Die Konstruktion dieses Apparates ist eine ziemlich einfache: ein dreieckiges oder viereckiges Gestell von Schmiedeeisen, ungefähr $1^1/_2$ m lang und $^1/_2$ m breit, trägt den $1^1/_2$ m langen Sack des Netzes; am hintern Ende desselben ist an einer Querstange eine Anzahl großer Flachsbüschel angebracht, in deren Gewirre sich sehr häufig größere Tiere verwickeln

und auf diese Weise in guter Erhaltung an die Oberfläche geschafft werden (s. Abbildung, S. 575). Statt dieses Schleppnetzes wurde auch häufig und mit gutem Erfolge ein großes Austernnetz von fast 10 m Länge verwendet. Diese Apparate werden nun an Tauen ins Meer hinabgelassen und über den Boden desselben durch die Bewegung des Schiffes fortgezogen, bis die Zeit für die Füllung des Sackes mit dem Schlamme des Bodens und seinen Tieren genügend erscheint; dann wird das Ganze zur Untersuchung wieder heraufgeholt.

So einfach dieser Vorgang in der kurzen Beschreibung erscheinen mag, so schwierig ist er in Wirklichkeit, und so vielen Zufälligkeiten ist sein Erfolg unterworfen. Um sich ein Bild davon zu machen, genügt schon die Vorstellung, daß das Netz unter Umständen in eine Tiefe bis zu einer deutschen Meile hinabgelassen wird. Das Abwickeln und Wiedereinziehen des riesigen Seiles ist allein schon eine verwickelte Operation. Das Tau läuft über



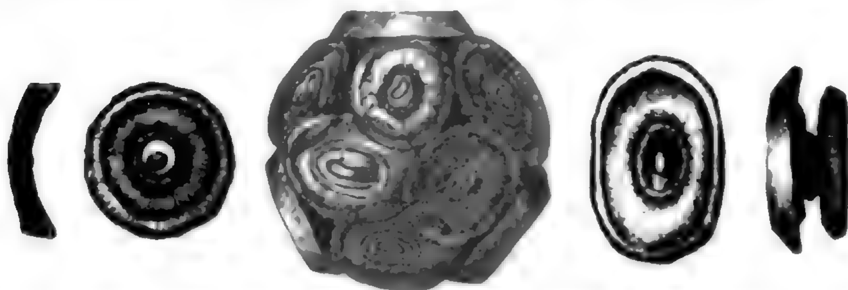
Tiefseeschlamm mit Foraminiferen, Radiolarien, Diatomeen, Schwammnadeln, Kokkolithen und sogen. Bathybius (nach Häckel). Vgl. Text, S. 579.

eine Rolle an der großen Raa eines Mastes, das Netz wird über Bord geworfen und sinkt nun anfangs durch sein eignes Gewicht rasch unter; nach einiger Zeit erweist sich dieses aber nicht mehr genügend, um das Seil nachzuziehen, und nun müssen an dieses Gewichte (von 100 bis 150 kg) angehängt werden. An dem Taue sind in bestimmten Entfernungen kleine Netze angebracht, welche den Boden nicht erreichen und dazu dienen, die in verschiedenen Tiefen schwimmenden Tiere aufzufangen. Endlich wird der Apparat durch die Dampfmaschine des Schiffes wieder aufgezogen; Stunden vergehen, ehe dieses langwierige Geschäft beendet ist. Der Sack erreicht die Oberfläche und gelangt zur Untersuchung; oft lohnt ein reichlicher Fang, aber oft genug war alle Mühe umsonst: die Leine war zu kurz, um bis auf den Boden reichen zu können, oder eine unterseeische Strömung hat dies verhindert, das Wasser hat den Inhalt des Netzes wieder herausgewaschen, ehe es emporkam, oder irgend ein andrer unglücklicher Zufall hat den Erfolg vereitelt.

So viele Enttäuschungen dieser Art aber im einzelnen auch vorkommen mögen, so sind doch die Resultate im ganzen genommen höchst bedeutungsvoll. Die Entdeckung eines reichen Lebens in Regionen, in welche kein Strahl des Sonnenlichtes mehr dringt, und in

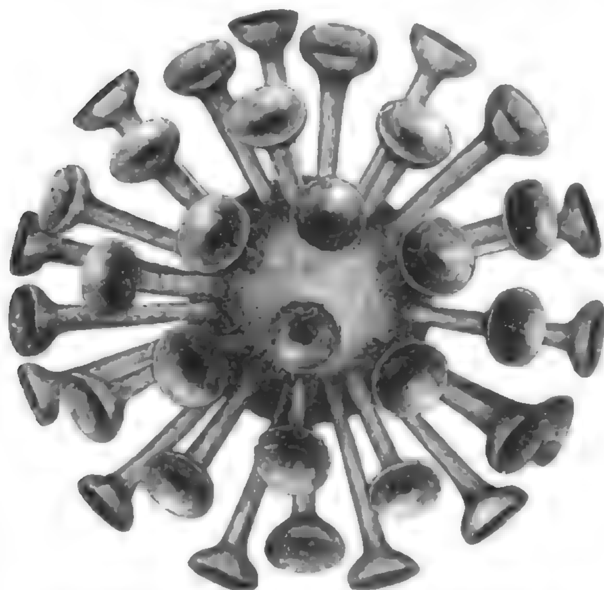
welchen der Druck des Wassers ein so kolossaler ist, daß er auf jedem Quadratmeter mit einem Gewichte von fast 10 Millionen kg lastet, die Auffindung einer Reihe der merkwürdigsten Tierformen geben Zeugnis davon. Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die Ergebnisse für die Frage, welche uns hier beschäftigt, für die Frage nach der Bildung von Kalkabsätzen durch niedere Organismen.

Wie schon früher erwähnt wurde, kommen die gewöhnlichen mechanischen Sedimente von Sand und Schlamm nur in einem verhältnismäßig schmalen Gürtel rings um das feste Land vor. Sobald man dieses Gebiet verlassen hat und weiter gegen die offene See vorrückt, bildet bis zu einer Tiefe von etwa 2200 Faden (ca. 4000 m) fast überall, wo das Wasser nicht zu kalt ist, den Boden ein eigentümlicher kalkiger Absatz, der namentlich im Atlantischen Ozeane ungeheure Verbreitung erlangt. Frisch heraufgezogen, besteht derselbe in einem gelblichen oder etwas graulichen, klebrigen Schlamme, der beim Trocknen weiß wird, ein kreidiges Aussehen erhält und sich unter dem Mikroskope als ganz aus den kleinen und kleinsten Resten von Organismen zusammengesetzt zeigt.



Kokkolithen und Kokkosphäre. In 1000facher Vergrößerung. Vgl. Text, S. 579 und 581.

Insbesondere sind es Foraminiferen, welche an seiner Zusammensetzung teilnehmen: in erster Linie die Gattung Globigerina, der die Bildung ihren Namen Globigerinenschlamm verdankt, und ferner Orbulina und Pulvinulina. Teils in vollständiger Erhaltung, teils mehr oder weniger zerbrochen und durch die Einwirkung des Meerwassers angegriffen, liegen sie in ungeheuern Massen beisammen und stellen so das wesentlichste Element für die ausgedehntesten Kalkbildungen am Meeresgrunde dar.

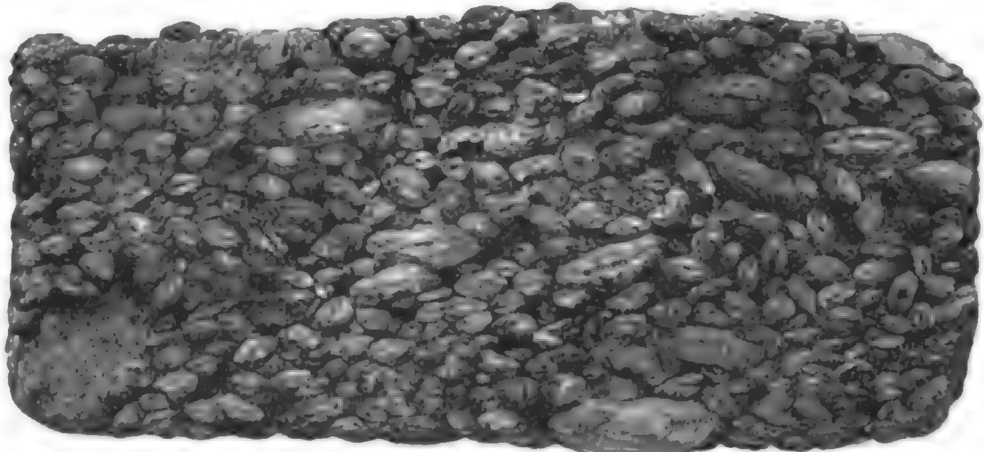


Rhabdosphäre (nach Wyville Thomson). Sehr stark vergrößert. Vgl. Text, S. 579 und 581.

Als diese merkwürdige Thatsache bekannt wurde, erhob sich sofort die Frage nach der Entstehung dieses eigentümlichen Absatzes. Leben die Foraminiferen am Grunde, oder schwimmen sie näher der Oberfläche im Wasser, und sinken die Schalen dann nach dem Tode der Bewohner unter; und haben wir im Globigerinenschlamme die riesige Nekropole der in höhern Regionen lebenden Tiere? Beide Ansichten haben ihre Vertreter gefunden und werden noch aufrecht erhalten; soweit bis jetzt die Thatsachen bekannt sind, sprechen sie mit großer Bestimmtheit für die letztere Annahme, wenigstens so weit, daß die Hauptmasse des Materiales von schwimmenden Tieren herrührt, während allerdings auch auf dem Meeresgrunde selbst Foraminiferen zu leben und zur Sedimentbildung beizutragen scheinen. Natürlich muß die vollständige Bearbeitung der Materialien der Challenger-Expedition abgewartet werden, ehe ein endgültiges Urteil gefällt werden kann.

Die Gründe, welche für jene zweite Ansicht sprechen, sind sehr einfach; unter dem massenhaften Materiale der Grundproben aus größern Tiefen ist nie ein lebendes Exemplar oder ein totes mit gut erhaltenem Tiere gefunden worden, während sie in den an der Leine schwebenden Oberflächennetzen fast immer in Menge erbeutet wurden; die letztern Exemplare zeigten stets frische, glasglänzende Schale, während die aus der Tiefe mattes und angegriffenes Gehäuse hatten. Ferner sind die schwimmenden Globigerinen und Orbulinen ganz mit überaus langen und zarten Kalknadeln bedeckt (s. Abbildungen, S. 5 und 576), während diese bei den aus der Tiefe stammenden Stücken stets abgebrochen sind. Aus allen diesen Gründen wird es sehr wahrscheinlich, daß sich am Grunde fast nur die abgestorbenen Gehäuse sammeln, welche aus den der Oberfläche nahegelegenen Wohnstätten der Tiere niedersinken.

Es sind jedoch nicht die genannten Foraminiferengattungen allein, welche die Zusammensetzung des Globigerinenschlammes bedingen; noch andre Sippen (s. Abbildung, S. 577) und mannigfache Reste andrer Kalk absondernder Tiere, ferner kieselschalige Radiolarien nehmen an derselben, wenn auch in untergeordnetem Maße, teil. Eine sehr beträchtliche Rolle in der Zusammensetzung des weißen Kalkabsatzes spielen aber überaus kleine und ihrer wahren Natur nach noch etwas rätselhafte Körper, welche in der Regel in ziemlicher Masse auftreten. Es sind das nur bei starker Vergrößerung sichtbare scheiben- oder stabförmige Vorkommnisse, welche die Namen Kokkolithen (Kernsteinchen), Kokkosphären (Kernkugeln) und Rhabdolithen (Stabsteinchen) erhalten haben. Die **Kokkolithen** sind kleine, runde oder elliptische Kalkscheibchen, meist mit einem Kerne in der Mitte, die selbst bei 1000facher Vergrößerung (s. Abbildung, S. 578 oben) noch sehr klein erscheinen, während die **Rhabdolithen** entsprechend kleine, stabförmige Kalkpartikeln darstellen, die ebenfalls zu kugeligen Massen, den **Rhabdosphären** (Stabkugeln), vereinigt auftreten können (s. Abbildung, S. 578 unten).

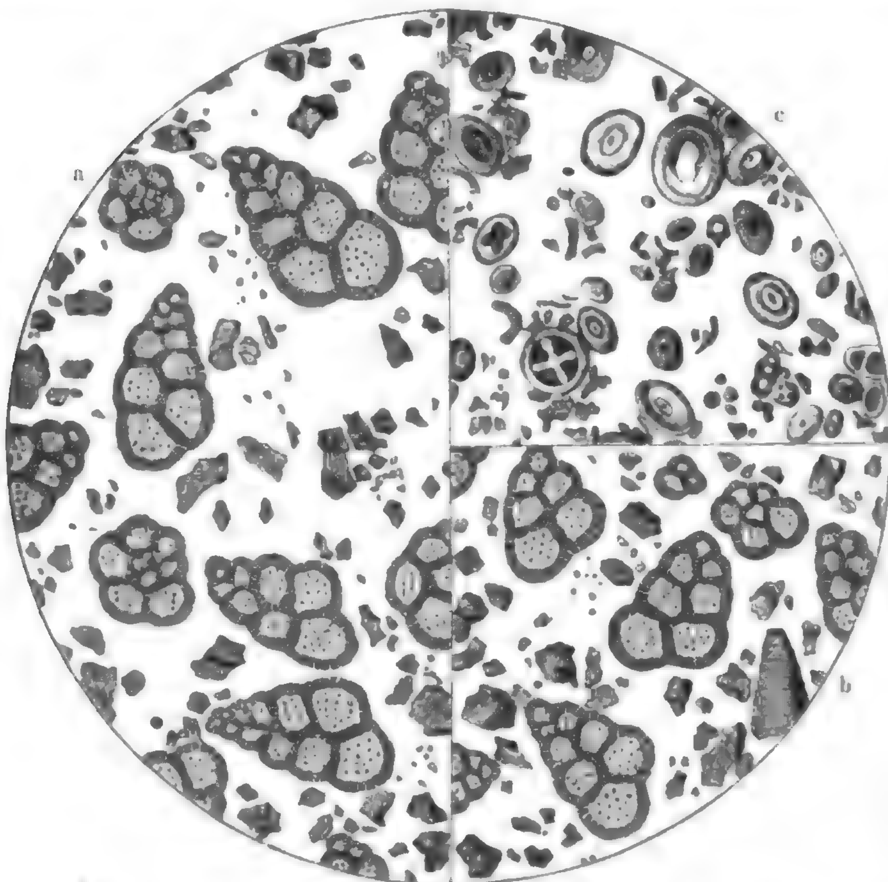


Nummulitenkalk. Vgl. Text, S. 581.

Über die Herkunft dieser winzigen Körper ist man noch sehr im Zweifel. An sie knüpft eine Verirrung an in dem übereilten Streben nach Bestätigung der Deszendenzlehre, das die biologischen Untersuchungen der sechziger Jahre unsers Jahrhunderts wenigstens teilweise charakterisiert. Die gewaltige Anregung, welche Darwins Buch „Über die Entstehung der Arten“ brachte, veranlaßte wahrhaft fieberhafte Thätigkeit; der Aufschwung der Wissenschaft war ein ungeheurer, und seine segensreichen Früchte werden selbst von allen vernünftigen Gegnern der Darwinschen Lehre anerkannt. Dabei ist es sehr begreiflich, daß ab und zu über das Ziel hinausgeschossen wurde; Schaden hat die Wissenschaft dadurch nicht gelitten, die Auswüchse wurden zum größten Teile rasch abgestoßen, und was von ihnen noch geblieben ist, wird bald desselben Weges gegangen sein.

Die ersten genauen mikroskopischen Untersuchungen des **weißen Tiefseeschlammes** wurden an Proben angestellt, welche in sehr starkem Weingeiste aufbewahrt worden waren. Hier sah man nun eine eigentümliche schleimige, flockige Substanz ohne erkennbare

Struktur, in welche Kokkolithen massenhaft eingebettet waren; das ganze Aussehen der Substanz war dasjenige des Protoplasmas, der Eiweißsubstanz, bei den niedrigsten Organismen. Dafür wurde sie auch gehalten, und als man dann die zähe Konsistenz des frischen Globigerinenschlammes sah, glaubte man sie ebendieser Eiweißsubstanz zuschreiben zu müssen und kam so zu der Ansicht, daß man es mit einem Lebewesen einfachster Art zu thun habe. Es sollte belebtes, der Zusammenziehung fähiges Protoplasma sein ohne Struktur, ohne bestimmte äußere Form und Begrenzung, das in zusammenhängenden Massen ohne Sonderung in Individuen den Meeresboden bedeckte und sich dort unmittelbar aus unorganischen Stoffen bildete, da eine eigentliche Nahrungsaufnahme hier kaum denkbar schien. Rhabdolithen und Kokkolithen galten als innere Ausscheidungen dieses merkwürdigen Organismus, der den Namen Bathybius („in der Tiefe lebend") erhielt.



Schlämmrückstand von weißer Kreide (nach Zittel).
a aus Sussex; b aus der Libyschen Wüste (150fach vergrößert); c Getrockneter Rückstand aus milchiger Kreideflüssigkeit (1200fache Vergrößerung). Vgl. Text, S. 581.

Man erinnerte sich der alten Hypothese Okens und andrer Naturphilosophen, daß auf dem Grunde des Meeres aus unorganischen Stoffen sich der organisierte „Urschleim" bilde, aus dem sich alles Leben entwickelt. Das Bindeglied zwischen unorganischer und organischer Natur, das die Rätsel der Entstehung des Lebens löst, schien gefunden. Leider kam es anders, und Bathybius wurde „nach kurzem, aber ruhmreichem Dasein" aus der Reihe der Lebenden gestrichen.

Auch in diesem Punkte haben die Ergebnisse der Challenger-Expedition das Richtige erkennen lassen. Selbstverständlich war die Aufmerksamkeit im höchsten Grade darauf gerichtet, neue Daten und Beobachtungen über das seltsame Wesen aus der Tiefe zu erhalten, aber trotz der sorgsamsten Untersuchung der frischen Bodenproben war nirgends eine Spur von Bathybius zu finden; erst wenn man Proben zur Aufbewahrung in starken Alkohol setzte, zeigte sich die eigentümliche flockige Trübung. Man prüfte die Flocken auf chemischem Wege näher, und es ergab sich, daß sie lediglich aus einem Gipsniederschlage bestehen, der allerdings unter dem Mikroskope mit Protoplasma große Ähnlichkeit hat. Das Meerwasser enthält bekanntlich eine ziemlich beträchtliche Menge von schwefelsaurem Kalke, der in Alkohol nur sehr schwer löslich ist und sich deshalb beim Zusatze von Weingeist als flockiger Niederschlag ausscheidet.

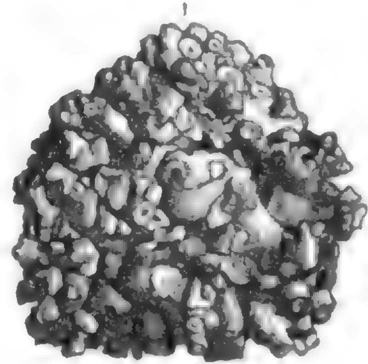
Woher aber die kleinen Kalkkörper der Kokkolithen und Rhabdolithen rühren, die zu Billionen und Trillionen den Meeresgrund bedecken, ist eine noch ungelöste Frage. Wohl

hat man, wie oben bemerkt, oft mehrere Kokkolithen zu einer Kugel zusammengeballt gefunden, die man als Coccosphaera bezeichnet, und ebenso kombinieren sich häufig mehrere Rhabdolithen zu einer Rhabdosphaera (s. die Abbildungen, S. 578); Kokkolithen und Rhabdolithen sind also wahrscheinlich aus dem Zerfalle von Kokkosphären und Rhabdosphären entstanden, der Ursprung dieser ist aber noch ganz unbekannt; ob sie durchaus eigentümlichen, uns noch fremden Organismen angehören, ob sie auf irgend welche Entwickelungsstadien von Protozoen zu beziehen sind oder zu den Algen gehören, ist noch zweifelhaft, wenn auch die letztere Ansicht jetzt die meisten Anhänger haben dürfte.

Kein andres Kalksediment nimmt in den jetzigen Meeren auch nur entfernt einen so großen Flächenraum ein wie der hauptsächlich aus Foraminiferen und Kokkolithen bestehende weiße Schlamm. Wie groß die Mächtigkeit dieses Absatzes sei, darüber haben wir natürlich keinerlei bestimmte Daten, doch ist sie wahrscheinlich eine ungeheure.

Die riesige Verbreitung des Globigerinenschlammes in der Jetztzeit legt die Vermutung nahe, daß auch in frühern Perioden der Erdgeschichte dieselben oder ihnen verwandte Organismen eine sehr große Rolle in der nämlichen Beziehung gespielt haben. Thatsächlich ist dies vollauf der Fall, soweit wir nach den sehr spärlichen Untersuchungen urteilen können, welche hierüber vorliegen. Von einer Reihe von Kalken wissen wir seit langem, daß sie ganz oder zum größten Teile aus Foraminiferenschalen gebildet sind. So haben die verhältnismäßig sehr großen Nummuliten (s. Abbildung, S. 579) der ältern Tertiärzeit die mächtigen Nummulitenkalke zum wesentlichen Teile aufgebaut, deren großartige Verbreitung sich von den Pyrenäen bis an den Stillen Ozean erstreckt, und im Pariser Becken setzen winzige Foraminiferen aus der Familie der Miliolideen die Schichten des Miliolideenkalkes zusammen, aus dem ein großer Teil der Stadt Paris gebaut ist. Die meiste Ähnlichkeit aber zeigt mit dem Globigerinenschlamme ein allgemein bekanntes Gestein, die weiße Kreide (s. Abbildung, S. 580), die in ähnlicher Ausbildung von England und Skandinavien bis Nordafrika und Syrien verbreitet ist. Auch hier bilden Foraminiferen und noch mehr Kokkolithen die Hauptmasse, wenn auch andre Gattungen der erstern, namentlich Textularien und Rotalien (s. die Abbildungen, S. 574), die bedeutendste Rolle spielen.


Daktyloporiden der Trias (Gyroporella), nach Gümbel. Vgl. Text, S. 582.

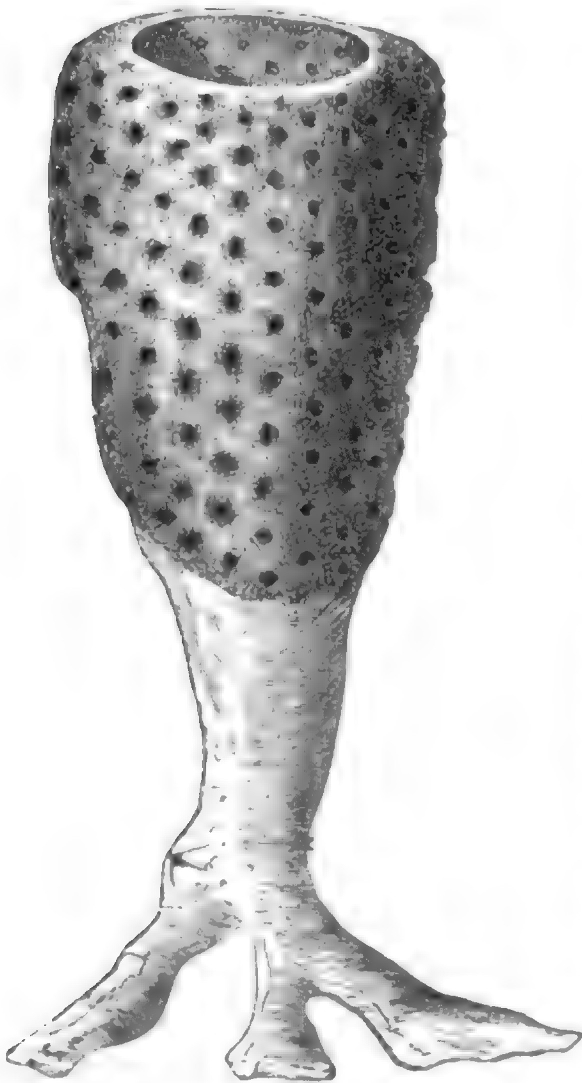


Lithothamnium von Capri.
1 Selbständiges Individuum — 2 als Überzug über eine Schneckenschale (Cerithium vulgatum). Vgl. Text, S. 582.

Neben diesen Gesteinen, in welchen das massenhafte Vorkommen der Foraminiferen deutlich hervortritt, und denen sich noch die Fusulinenkalke der Kohlenformation, die Alveolinenkalke des Tertiärs anreihen lassen, sind andre in weit größerer Menge vorhanden, in denen die Wichtigkeit dieser kleinen Schalen nur schwer erkennbar ist; es sind das dichte Kalke, welche dem flüchtigen Blicke ihren Ursprung nicht so leicht verraten, sondern erst in Dünnschliffen unter dem Mikroskope zahllose Durchschnitte von Foraminiferen erkennen lassen. Leider ist in dieser Beziehung noch viel zu wenig geforscht worden, aber soweit die vorhandenen Erfahrungen reichen, scheinen gerade viele der reinsten und in größter Masse auftretenden Kalke in diese Kategorie zu gehören. Noch größere Schwierigkeit

bereitet die Konstatierung der Kokkolithen in Gesteinen, die durch spätere Umänderungsprozesse die Deutlichkeit ihrer Struktur großenteils eingebüßt haben; doch haben die Untersuchungen von **Gümbel** auch hier eine früher nicht geahnte Verbreitung in kalkigen Gesteinen der verschiedensten Zeiten und Gegenden nachgewiesen. Jedenfalls sind wir berechtigt, diese beiden Kategorien von winzig kleinen Geschöpfen als die kräftigsten und erfolgreichsten Kalkbildner unsrer Meere zu bezeichnen.

Weit geringer als die Bedeutung der Tiere für die Kalkbildung ist diejenige der **Pflanzen**, von welchen nur die **Kalkalgen** in Betracht kommen. Die Rolle, die sie an den Korallenriffen spielen, wurde schon erwähnt. In der Vorzeit sind in dieser Beziehung namentlich die Daktyloporiden zu erwähnen (s. Abbildung, S. 581 links), die in der Triasformation gesteinsbildend auftreten, sowie die Lithothamnien (s. Abbildung, S. 581 rechts), die in den seichtern Gewässern der jüngern Tertiärzeit massenhaft vegetierten und verschiedene Kalksteine, besonders den Leithakalk, den Baustein von Wien, wesentlich zusammensetzen.



Ein Glasschwamm aus der Tiefsee.

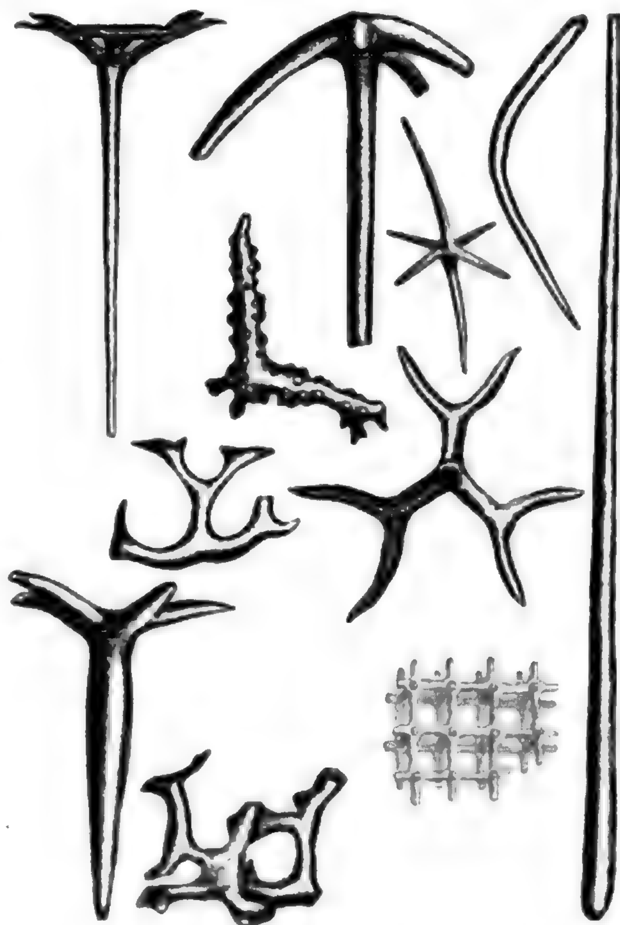
In dem Globigerinenschlamme finden sich neben den zahllosen Resten kleiner kalkiger Organismen nicht selten auch **Körperchen, die aus Kieselsäure gebildet** sind, demselben Stoffe, aus welchem Quarz, Opal, Feuerstein &c. bestehen. In erster Linie sind hier die Überreste gewisser Schwämme zu nennen. Das feste Gerüst, welches die meisten Seeschwämme oder Spongien absondern, ist bald hornig, wie z. B. beim Badeschwamme, bald kalkig, bald kieselig. Während die harten Teile der Horn- und selbst der Kalkschwämme zu vergänglich sind, um sich erhalten oder wenigstens eine irgend namhafte Rolle spielen zu können, besteht das Skelet der Kieselschwämme aus kräftigen und oft sehr großen, überaus mannigfach geformten, in der verschiedensten Weise gruppierten und miteinander verwachsenen Nadeln. Noch vor kurzem glaubte man, daß diese Kieselschwämme in der Jetztzeit bis auf wenige seltene Vertreter ganz ausgestorben seien, als die neuern Untersuchungen die Existenz zahlreicher und weitverbreiteter Repräsentanten dieser sogenannten **Glasschwämme** (s. obenstehende Abbildung) in der Tiefsee nachwiesen. Und in noch weit größerer Menge bewohnten diese prachtvollen Geschöpfe die Meere der Vorzeit.

Nach dem Tode des Tieres zerfällt das Kieselgerüst meist in die einzelnen Nadeln. In der Jetztzeit allerdings spielen diese am Meeresboden nur eine untergeordnete Rolle, aber früher war das anders; wir kennen durch die Untersuchungen von **Gümbel** und **Zittel** Gesteine der Kreideformation aus Norddeutschland und aus den Karpaten, die ganz aus solchen Schwammnadeln (s. Abbildung, S. 583) bestehen.

Von weit größerer Bedeutung als die Spongien sind in den jetzigen Meeren die **Radiolarien**, den Foraminiferen verwandte, aber etwas höher organisierte, winzige Tierchen,

die überaus zierliche Kieselgerüste von sehr wechselnder Form besitzen: bald sind es gitterartig durchbrochene Glocken oder Kugeln, die oft zu mehreren ineinander stecken, bald einfachere Gerüste, aus der Verschmelzung nadelförmiger Teile bestehend. Auch sie schwimmen, gleich den Globigerinen und Orbulinen, im Meerwasser, sinken nach ihrem Tode zu Boden und kommen meist mit jenen gemeinsam, aber in geringerer Menge vor; nur in einigen Gegenden des Stillen Ozeanes, nördlich von Neuguinea und südlich von den Sandwichinseln, fand man den ganzen Boden mit ihren winzigen Schälchen bedeckt. Ähnliche Vorkommnisse aus der Tertiärzeit sind von der Insel Ägina in Griechenland, von Caltanisetta und andern Punkten in Sizilien, von Oran in Algerien und von der Insel Barbados in Westindien bekannt.

Die letzte Abteilung von Organismen endlich, welche kieselige Gesteine liefern, sind niedrig organisierte Pflanzen, die mikroskopischen Diatomeen oder Kieselzellen. Sie halten sich sowohl im süßen Wasser als im Meere auf, und Ehrenberg war es vor allen, der die wichtige Thätigkeit der Süßwasserdiatomeen nachwies. Sie bilden mit ihren Gehäusen den Polierschiefer, wie er z. B. bei Bilin in Böhmen auftritt, sowie die Kieselgur, lockere, aus staubartig verbundenen Teilchen bestehende Massen, die in ihrem Aussehen fast an Kreide erinnern. Es ist bekannt, daß der Untergrund eines großen Teiles von Berlin aus einem Lager dieses Materiales besteht, das auch sonst noch vielfach in der norddeutschen Ebene und in manchen andern Gegenden vorkommt.



Schwammnadeln (nach Zittel). Vgl. Text, S. 582.

Auch im Meere sind Diatomeen sehr verbreitet, aber in der Regel treten sie, ähnlich wie die Radiolarien, andern Materialien gegenüber zurück; nur am Rande des Südlichen Eismeeres hat man weite Strecken gefunden, deren Sediment ganz oder fast ganz aus Diatomeen besteht.

In den hier genannten Gesteinen treten die Reste der kieseligen Organismen sehr deutlich, in andern dagegen viel weniger klar auf. Unter den letztern sind namentlich die Feuersteine und Kieselschiefer zu nennen, Gesteine von allergrößter Verbreitung, die durch ihre Verwendung im täglichen Gebrauche allgemein bekannt sind. Das häufigste Vorkommen des Feuersteines ist wohl das in den Schichten der weißen Schreibkreide, wo er meist in Form von Knollen massenhaft eingebettet liegt. Schon seit langer Zeit ist die Ansicht ausgesprochen worden, daß diese Knollen nichts weiter seien als Kieselschwämme, die im Fossilisationsprozesse Form und Struktur verloren haben; doch ist diese Meinung nicht haltbar, da der Kieselgehalt eines aus zarten Nadeln aufgebauten Schwammskelettes unmöglich das ganze Material für einen massigen Feuersteinklumpen liefern kann. Dagegen scheint so viel richtig, daß kieselige Organismen, Schwammnadeln, Radiolarien und Diatomeen, den Stoff für jene Bildungen geliefert haben. Nach außen sind die Feuersteine in der Regel nicht scharf begrenzt, sondern gehen in ein weißes, zerreibliches

Kieselpulver über, das unter dem Mikroskope gewöhnlich als aus Spongiennadeln gebildet erscheint, die hier außen noch gut erhalten sind, während sie im Innern bei der Fossilisation so weit ihre Form verloren haben, daß sie den dichten Feuerstein bilden. Hinde hat an einem einzigen solchen Knollen von Horstead in England die Reste von 32 Gattungen und 38 Arten von Spongien gefunden, und zu ähnlichen Ergebnissen sind J. Wright und Sollas gekommen.

Wir können daher die Feuersteine der weißen Kreide als das Produkt organischer Thätigkeit betrachten, wenn auch nicht jeder Knollen einem Schwammindividuum entspricht; dasselbe gilt wahrscheinlich für ähnliche Bildungen andrer Horizonte und selbst da, wo ganze Schichten von oft ziemlich bedeutender Mächtigkeit aus dem nämlichen Stoffe bestehen. Wenigstens hat Pantanelli dies für die Vorkommnisse des Apennin gezeigt, und wenn auch die Zahl der Untersuchungen noch viel zu gering für ein definitives Urteil ist, so spricht doch vieles dafür, daß alle oder doch die meisten Feuersteine, welche als Knollen oder Schichten in normalen marinen Bildungen auftreten, denselben Ursprung haben.

Dies gilt auch vom Kieselschiefer; an den im Fichtelgebirge auftretenden Gesteinen dieser Art hat zuerst Gümbel auf das Vorhandensein organischer Struktur aufmerksam gemacht, die unter dem Mikroskope bemerkbar wird, und neuerlich hat Rothpletz das Vorkommen von Radiolarien, Spongiennadeln und andern kieseligen Organismenresten im silurischen Kieselschiefer Sachsens eingehend nachgewiesen und diesen die Bildung des Gesteines, wie es scheint, mit vollstem Rechte zugeschrieben.

Roter Tiefseethon.

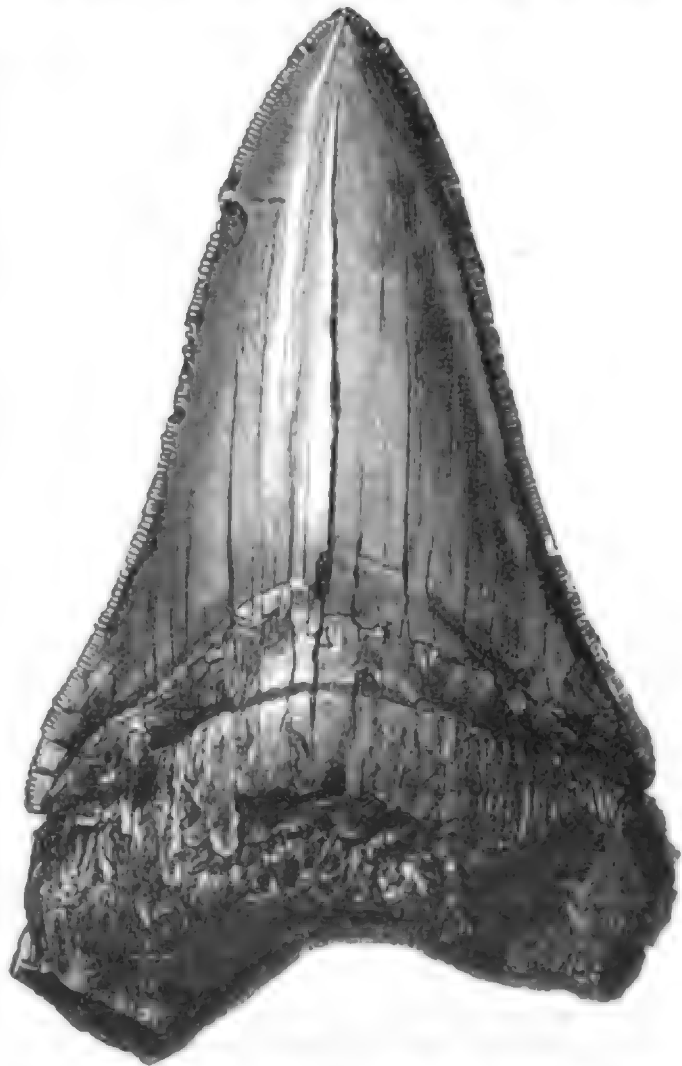
So groß die Ausdehnung der Sedimente ist, welche im offenen Ozeane fern von der Küste durch die Reste von Organismen gebildet werden, so bedecken sie doch nicht den ganzen Meeresboden; außer ihnen tritt als die verbreitetste aller Bildungen und gerade in den gewaltigsten Tiefen ein höchst merkwürdiger und in vieler Beziehung noch sehr rätselhafter Absatz auf: der graue und rote Tiefseethon. Der Globigerinenschlamm findet sich, wie oben erwähnt, meistens in einer Tiefe bis zu etwas mehr als 2200 Faden (ca. 4000 Meter), nur an einigen wenigen Stellen tritt er in noch größerer Tiefe auf; das äußerste Extrem bildet ein vereinzeltes Vorkommen in 2925 Faden (etwa 5600 Meter). Gewöhnlich erscheint in Meeresabgründen von mehr als etwa 2200 Faden der graue und rote Thon.

Sehr treffend wird dieses Verhältnis durch eine Reihe von Wyville Thomson mitgeteilter aufeinander folgender Sondierungen des Challenger, welche quer über den Atlantischen Ozean von Teneriffa nach St. Thomas in Westindien reichen, erläutert.

Station	Faden Tiefe	Bestandteile	Station	Faden Tiefe	Bestandteile
1	1890	Globigerinenschlamm	12	1900	Globigerinenschlamm
2	1945	Globigerinenschlamm	13	1950	Globigerinenschlamm
3	2220	Globigerinenschlamm	14	2325	Roter Thon
4	2740	Roter Thon	15	2435	Roter Thon
5	2950	Roter Thon	16	2385	Roter Thon
6	2750	Roter Thon	17	2675	Roter Thon
7	2800	Roter Thon	18	3000	Roter Thon
8	3150	Roter Thon	19	2975	Roter Thon
9	2720	Roter Thon	20	3025	Roter Thon
10	2575	Roter Thon	21	1420	Globigerinenschlamm
11	2025	Globigerinenschlamm	22	450	Globigerinenschlamm

Beiderlei Gebilde sind durch mannigfaltige Übergänge miteinander verbunden: in dem Globigerinenschlamme werden mit zunehmender Tiefe die einzelnen Kalkkörper undeutlich, sie sehen, unter dem Mikroskope betrachtet, aus, als ob sie von Säure angeätzt wären, sie treten an Zahl mehr und mehr zurück und verschwinden endlich; die Farbe wird dabei grau, in weiterm Fortschritte der Entkalkung rot oder schokoladebraun, nur ganz vereinzelte Foraminiferen sind hier und da noch zu bemerken, und diese Veränderungen gehen in der Weise vor sich, daß sie Hand in Hand mit der zunehmenden Tiefe fortschreiten.

Eine Erscheinung, welche hierbei zuerst auffällt, ist das vollständige oder fast vollständige Fehlen der Foraminiferen, obgleich diese an der Oberfläche über Bodenstrecken mit rotem Thone ebensowohl schwimmend vorkommen als über solchen mit Globigerinenschlamm. Die Schalen müssen nach dem Absterben des Tieres niedersinken, und doch bringt sie uns das Schleppnetz nicht herauf. Es ist hier nur eine Erklärung möglich: das Meerwasser muß infolge des etwas größern Kohlensäuregehaltes, den es in den größten Tiefen hat, und wohl auch infolge des kolossalen Druckes, der in jenen Abgründen herrscht, weit mehr befähigt sein, die Kalkschalen der Foraminiferen aufzulösen. Dafür spricht auch der eben erwähnte Umstand, daß in jenen Sedimenten, welche einen Übergang zwischen Globigerinenschlamm und rotem Thone bilden, die Kalkschalen ein angefressenes, korrodiertes, Aussehen haben, als wenn sie mit Säure behandelt worden wären. In der That gibt das Experiment eine Bestätigung dieser Annahme, denn wenn man eine bedeutende Partie Globigerinenschlamm in Essigsäure auflöst, so bleibt als Rückstand ein winziger Rest eines roten Thones, der dem in größerer Meerestiefe selbständig auftretenden durchaus gleicht.



Ein Zahn von Carcharodon aus dem Tertiärthone von Baden bei Wien. Vgl. Text, S. 586.

Wenn wir nun auch die Abwesenheit der Foraminiferen erklären können, so wissen wir doch noch nichts über die Herkunft des roten Thones, der seine Farbe einem starken Gehalte an Eisenoxyd und Manganoxyd verdankt. Daß die roten Thone sich außerordentlich langsam bilden, und daß überaus lange Zeit darüber hingeht, ehe sich eine auch nur einigermaßen größere Menge derselben ablagert, beweist das Vorhandensein verschiedener Körper, welche gewöhnlich im Thone eingebettet sind. Sehr häufig und oft in großen Mengen beisammen findet man darin Zähne von Haifischen, Knochen, namentlich die äußerst soliden Ohrknochen (Bulla tympani) von Walen, endlich Knollen von Braunstein (Mangansuperoxyd), die oft in Massen vom Schleppnetze heraufgebracht werden.

Die genannten Tierreste sind die Überbleibsel von Individuen, die von der Oberfläche nach ihrem Tode zu Boden gesunken sind. Da die Haifische knorpeliges Skelett besitzen,

so konnten sich von ihnen nur die Zähne erhalten; von den Walfischen bleiben zwar die Knochen nach der Verwesung der Weichteile zurück, aber auch von diesen scheint das Meerwasser die Mehrzahl aufgelöst und nur die allerfestesten und solidesten, namentlich die Bulla tympani, übriggelassen zu haben. Welch ungeheure Zeiträume müssen vergehen, ehe sich die Zähne und vereinzelten Knochen in so riesiger Menge ansammeln können! Dabei muß man die Mittel ins Auge fassen, mit welchen wir den Meeresboden untersuchen; es ist ein ähnliches Verhältnis, als ob man die Beschaffenheit des festen Landes von einem in 6—7000 m Höhe schwebenden Luftballon dadurch untersuchen wollte, daß ein einige Meter großer Sack an einem Seile auf die Erde niedergelassen, einige Zeit am Boden fortgeschleppt und dann wieder aufgezogen wird. Man kann daraus ermessen, in welchen Massen Knochen und Zähne in den größten Tiefen des Meeres verbreitet sein müssen, wenn unsre unvollkommenen Mittel sie uns in solcher Menge finden lassen.

Eine noch auffallendere Thatsache ist die, daß sich unter den Haifischzähnen des roten Tiefseeschlammes auch solche finden, welche nicht denen einer jetzt noch lebenden Art von Haien gleichen, sondern sich durch ihre außerordentliche Größe sowie durch ihre breite, an den Rändern gekerbte Gestalt von jenen aller Repräsentanten der heutigen Arten unterscheiden. Sie stimmen ganz mit Zähnen überein, die man in vielen Gegenden nicht selten fossil in den Ablagerungen der Tertiärzeit findet und unter dem Gattungsnamen Carcharodon (s. Abbildung, S. 585) beschrieben hat. Die verhältnismäßig dünne Lage von rotem Thone, die das Schleppnetz am Grunde aufzuwühlen im stande ist, reicht daher wahrscheinlich mit ihrer Bildung bis in eine Zeit zurück, in der noch die riesigen Carcharodonten gelebt haben, also mindestens bis in die obere Abteilung des Tertiärs, das Pliocän.

Die mikroskopische Untersuchung des roten Tiefseeschlammes gibt zunächst Aufschluß über das Vorhandensein von vulkanischen Stoffen, namentlich von **Bimsstein**. Dieser ist bekanntlich ein vulkanisches Glas von äußerst lockerer Konsistenz, durchzogen von zahllosen lufterfüllten Blasen und Bläschen, und daher so leicht, daß er lange Zeit auf dem Wasser schwimmen kann. Nach vulkanischen Eruptionen findet man mit seinen flottierenden Stücken oft weite Strecken des Meeres bedeckt, auf dessen Grunde er in der Nähe von Feuerbergen massenhaft aufgehäuft liegt. Je größer die Entfernung von dem Eruptionsherde ist, um so spärlicher kommt Bimsstein schwimmend vor; aber wenn auch in geringster Menge, wird er doch durch Winde und Strömungen in allen Meeren verbreitet. Die Oberflächennetze des Challenger brachten bisweilen in Gegenden, die weit von jedem Vulkane entfernt waren, ein Stück Bimsstein zum Vorscheine; auf einem derselben war die kalkige Röhre eines Gliederwurmes angeheftet, ein Beweis, daß es schon so lange Zeit im Wasser schwamm, als der Wurm für den Bau seiner Kalkröhre braucht, also jedenfalls mehrere Monate hindurch und lange genug, um durch Meeresströmung Hunderte von Meilen weit verschleppt zu werden.

Diese Beobachtungen zeigen, daß vulkanische Stoffe und die Produkte ihrer durch das Meerwasser bewirkten Zersetzung einen Hauptanteil an der Bildung des roten Tiefseeschlammes haben; aber noch ein andrer, höchst merkwürdiger Vorgang ist dabei thätig. Die chemische Untersuchung hat den roten Thon als eine hauptsächlich aus Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd und Manganoxyd zusammengesetzte Substanz kennen gelehrt; neben diesen vorherrschenden Bestandteilen finden sich jedoch in geringer Menge auch solche Stoffe, welche gewöhnlichen Thonen in der Regel fremd sind, nämlich Kobalt, Nickel und Kupfer. Diese können unmöglich mit den Bimssteinen hergebracht worden sein, sie stammen wohl überhaupt nicht aus irdischen Quellen. Dagegen finden wir nickelhaltiges Eisen vor allem in den Meteorsteinen, und da wir wissen, daß außer den größern Aerolithen oft sehr feine Mineralteilchen, der sogenannte Meteorstaub, aus den Himmelsräumen auf

die Erde niederfallen, so liegt die Folgerung auf der Hand, daß neben dem Bimssteine es der Meteorstaub ist, welcher Material für den roten Thon der Tiefsee liefert. Woher der außerordentlich große Mangangehalt desselben jedoch stammt, der namentlich in der Bildung der massenhaften Braunsteinknollen zum Ausdrucke kommt, ist bis jetzt noch rätselhaft.

Der Dolomit.

Für eine große Menge von sedimentären Gesteinen hat uns die Beobachtung der Vorgänge, wie sie sich heute im Meere, in Seen, an Quellen und Flüssen abspielen, den Schlüssel zum Verständnisse ihrer Bildung ziemlich einfach geliefert; aber nicht überall ist die Erklärung eine leichte, und vor allem ist es eine Felsart, der Dolomit, die in innigster Verbindung mit andern Produkten der Sedimentation uns entgegentritt, die sicher in diese Gruppe selbst mit einzurechnen ist, deren Bildung aber heute noch wie am ersten Tage, an dem man ihre Entstehung zu erforschen versuchte, ein Rätsel ist, das bis jetzt allem Scharfsinne der Geologen und Chemiker getrotzt hat.

Lange Zeit hindurch hatte man dieses Gestein vom Kalke nicht unterschieden, bis der bekannte französische Mineralog Dolomieu, dem zu Ehren die Felsart später ihren Namen erhielt, im Jahre 1791 entdeckte, daß manche vermeintliche Kalksteine, deren massenhaftes Auftreten er namentlich für Tirol hervorhob, mit Säuren sehr schwach oder fast gar nicht aufbrausen und etwas höheres spezifisches Gewicht besitzen als z. B. Marmor. Einige Jahre später fand man auch, daß diese „Dolomite“ wesentlich abweichende chemische Zusammensetzung zeigen, indem sie, statt aus kohlensaurem Kalke, aus einer Verbindung von kohlensaurem Kalke und kohlensaurer Magnesia bestehen, so zwar, daß die normalen Vorkommnisse ein Äquivalent von jeder der beiden Substanzen, also 54,35 Prozent kohlensauren Kalk und 45,65 Prozent kohlensaure Magnesia enthalten. Daneben aber finden sich Gesteine mit geringerm Magnesiagehalte, die durch dolomitischen Kalk hindurch alle möglichen Zwischenglieder bis zum gewöhnlichen Kalke darstellen. Von weitern Merkmalen zeigte sich dann noch beträchtlichere Härte sowie in der Regel eine eigentümliche kristallinische Struktur des Dolomites, welche ihn selbst bei nur geringer Übung auf den ersten Blick leicht, wenn auch nicht in allen Fällen ganz sicher erkennen läßt.

Während der Dolomit anfangs vor allem vom mineralogischen Standpunkte aus als Merkwürdigkeit betrachtet wurde, machten sich nun bald Zweifel über die Art und Weise seiner Entstehung geltend; namentlich Leopold von Buch wies darauf hin, daß der Dolomit kein in normaler Weise gebildetes Sediment sei, sondern durch spätere Veränderung aus früher vorhandenem Kalke sich gebildet habe. Diese Ansicht erregte damals großes Aufsehen, und obwohl fast 60 Jahre seither verflossen sind, ist die Diskussion darüber doch noch nicht geschlossen. Zwar ist die Erklärung des Vorganges, die von Buch damals gab, gewiß unrichtig, ja sie mußte es nach dem damaligen Stande der Kenntnis sein, aber der Ruhm bleibt ihm unbestritten, richtig erkannt und allgemein zum Bewußtsein gebracht zu haben, daß der Dolomit ein Gestein ist, das nicht in der gewöhnlichen Weise sich gebildet, sondern einen Umwandlungsprozeß durchgemacht hat.

Die Umstände, welche zu dieser Auffassung führten, waren mehrfacher Art. In erster Linie fiel es auf, daß der Dolomit sehr häufig äußerst undeutlich oder gar nicht geschichtet ist, daß zahlreiche Klüfte sein Gefüge durchdringen, daß er weit mehr kristallinische Struktur zeigt als die Kalke, mit welchen er in Verbindung steht, und daß Versteinerungen von Tierresten in demselben entweder ganz fehlen, oder sehr selten und schlecht erhalten sind. Bisweilen liegt der Fall vor, daß eine Ablagerung von Kalk in ihrer horizontalen

Erstreckung in Dolomit übergeht, und daß dabei die verschiedenen eben genannten Eigentümlichkeiten sich einstellen. Diese Beobachtungen, in Verbindung mit den oft außerordentlich wilden, zerrissenen Terrainformen des Dolomitgebirges, wurden zunächst Veranlassung, dasselbe als einen umgewandelten Kalk zu betrachten. Dazu kommt noch als ein sehr wichtiger Beleg für diese Annahme, daß wir bis jetzt außer stande sind, für die großen Vorkommnisse mariner Dolomite eine direkte Entstehungsweise anzugeben. Es wurde für die Kalke früher gezeigt, daß die Hauptmasse derselben weder durch Ablagerung von Kalkschlamm noch durch Auskristallisierung aus dem Meerwasser entstanden sein kann, und genau dieselben Beweise gelten auch für den Dolomit. Nun haben wir für den Kalk in der absondernden Thätigkeit der Organismen einen Weg, auf welchem derselbe im Meere in großartigem Maßstabe abgelagert wird, allein diese Art der Erklärung läßt uns hier im Stiche, denn weder Mollusken noch Echinodermen, Korallen, Foraminiferen oder Kalkalgen sondern unsers Wissens dolomitische Hartteile ab. Zwar enthalten die Skelettteile gewisser mariner Organismen einige Prozent kohlensaure Magnesia, aber immer noch bedeutend weniger als die echten Dolomite; jedenfalls genügen derartige Vorkommnisse nicht, um die Entstehung des genannten Gesteines durch ihre Anhäufung direkt zu vermitteln.

L. von Buch versuchte diese Umbildung in einer Weise zu erklären, welche der damals fast ausschließlich herrschenden Richtung in der Geologie entsprach, indem sie gewaltigen vulkanischen Vorgängen diese Wirkung zuschrieb. Den Ausgangspunkt für seine Auffassung bildeten die ihres geologischen Interesses wie ihrer wunderbaren landschaftlichen Schönheit wegen berühmten Dolomitgebirge des südöstlichen Tirol. Dort treten sehr häufig, in der Regel unter dem Dolomite lagernd, große Massen eines Eruptivgesteines, des Augitporphyrs, auf, und von Buch nahm nun an, daß gleichzeitig mit dem Ausbruche dieser geschmolzenen Massen aus der Tiefe auch ungeheure Mengen von Magnesiadämpfen emporgedrungen seien, welche den ursprünglich vorhandenen Kalk in Dolomit umwandelten. In notwendiger Konsequenz dieser Auffassung gelangte er weiter zu der Hypothese, daß auch anderwärts dieselbe Ursache die Dolomitbildung hervorgerufen habe, und daß auch an Punkten, wo kein Eruptivgestein in der Nähe des Dolomites zu beobachten ist, wie z. B. im Fränkischen Jura, doch in der Tiefe dasselbe vorhanden sei und durch seine Bewegungen den Magnesiadämpfen zum Durchbruche verholfen habe. Diese Ansicht, so hohen Ansehens sie sich auch eine Zeitlang zu erfreuen hatte, ist jetzt längst überwunden; die große Unwahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von Eruptivmassen unter jedem der zahllosen Dolomitvorkommnisse und der Umstand, daß eine Umwandlung des Kalkes in Dolomit durch Magnesiadämpfe vom chemischen Standpunkte aus auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt, haben die Ablehnung derselben zur Notwendigkeit gemacht.

Man suchte nun eine Umänderung auf anderm Wege und zwar durch die Einwirkung von in Wasser gelösten Magnesiasalzen auf Kalkstein. Zunächst war es der Umstand, daß der Dolomit oft mit Gipsvorkommnissen in Verbindung steht, welcher auf eine neue Hypothese führte, daß schwefelsaure Magnesia in wässeriger Lösung wirksam sei. Man dachte, daß dieses Salz seine Magnesia an den Kalkstein abgegeben und so Dolomit gebildet habe, während die Schwefelsäure sich mit einer entsprechenden Menge Kalk zu Gips verbunden hätte. Allein das chemische Experiment zeigte, daß eine solche Umsetzung wenigstens unter normalen Verhältnissen ebenfalls nicht möglich sei, und ebenso verhält es sich mit der Annahme, daß Chlormagnesium diese Wirkung ausgeübt habe. Trotzdem lag und liegt noch immer die Vermutung nahe, daß gerade diese Salze eine solche Wirkung ausgeübt haben, weil sie im Meerwasser in beträchtlicher Menge vorhanden sind und daher das Material für die Veränderung überall geboten hätten.

In der That fand man, daß unter außergewöhnlichen Verhältnissen, d. h. bei hohem Drucke und einer Temperatur von mehr als 100°, der Kalk durch Chlormagnesium sowohl

als durch schwefelsaure Magnesia in Dolomit umgewandelt werden kann, und es ist begreiflich, daß auch diese Thatsachen zur Erklärung herbeigezogen wurden. Hatten für die Dolomite in Südtirol nach der Hypothese L. von Buchs die Eruptionen von Augitporphyr die Magnesia liefern müssen, so sollten sie jetzt die erforderliche Erhitzung des Meerwassers veranlassen. Bedenkt man jedoch, daß die Tuffmassen, welche zu den Eruptivgesteinen gehören, massenhafte Versteinerungen enthalten, daß also das Wasser nicht heiß genug war, um ein reiches Tierleben zu verhindern, daß ferner die Dolomite, welche durch die Hitze der Ausbrüche verändert worden sein sollen, eine Dicke von 1000 m erreichen und sich vom Etschthale bis Friaul erstrecken, daß endlich die meisten derselben in einer spätern Zeit abgelagert wurden, als die ist, in welcher die Hauptmasse jener Eruptionen stattfand, so wird man einer solchen Auffassung um so weniger beipflichten können, als für die zahllosen Dolomitvorkommnisse, in deren Nähe keine Eruptivgesteine vorhanden sind, diese Erklärung an sich schon wegfällt.

Von größerer Bedeutung sind andre Erklärungsversuche, welche eine Umänderung bei normaler Temperatur vor sich gehen lassen. Es wurde angenommen, daß Quellen, welche kohlensaure Magnesia enthalten, eine solche Umänderung bewirken können, indem sie aus dem Kalksteine Kalk auslaugen und Magnesia dafür zurücklassen, oder daß kohlensäurehaltiges Wasser aus einem magnesiahaltigen Kalke so viel kohlensauren Kalk ausgelaugt habe, daß Dolomit zurückblieb. Es sind das Vorgänge, gegen welche vom chemischen Standpunkte aus nichts einzuwenden ist, allein das geologische Vorkommen der Dolomite schließt das thatsächliche Wirken derselben in großartigem Maßstabe aus. Die zirkulierenden Wasser nehmen ihren Weg im Gesteine von oben nach unten, wir müßten also vor allem nach den Spalten und Klüften, auf denen das Wasser seinen Lauf nimmt, die Dolomitisation entwickelt sehen. Man wird also den eben geschilderten Vorgängen z. B. die Bildung beschränkter Dolomitpartien zuschreiben können, die mitten in einem Schichtensysteme von Kalk in vertikaler Richtung auftreten. Solche Vorkommnisse bilden aber die seltene Ausnahme; in der Mehrzahl der Fälle bilden die Dolomite trotz ihrer oft sehr beträchtlichen Mächtigkeit ausgebreitete Lager, deren Ausdehnung die Dicke bei weitem übertrifft, und welche gegen ihre Unterlage, die sehr häufig aus normalen Kalken besteht, mit einer normalen Schichtfläche abschneiden. So hat Gümbel für die Dolomite des obern Jura in Franken darauf aufmerksam gemacht, daß dort auf weite Strecken, z. B. von Eichstätt bis Pappenheim, eine konstante haarscharfe Scheidung zwischen auflagerndem Dolomite und unterlagerndem Kalke in horizontaler Richtung zu verfolgen ist, ja daß sogar wenig mächtige Bänke von Kalk und Dolomit miteinander wechsellagern. Solche Abgrenzung zwischen Kalk und Dolomit, die sich genau an die Schichtflächen hält, kann nicht das Werk späterer Metamorphose sein, sondern muß auf Unterschieden beruhen, die mit der Ablagerung der Schichten in ursprünglichem Zusammenhange stehen. Dieser Schluß drängt sich gerade für die bedeutendsten Dolomitvorkommnisse, z. B. für den oberjurassischen Dolomit Frankens, für die sogenannten Hauptdolomite der Alpen und selbst für die massigen Dolomite der Südostalpen, unwiderstehlich auf. Allerdings ist die Annahme notwendig,, daß das ursprüngliche Sediment aus kalkigen Skelettteilen von Tieren bestanden habe, aber die Umwandlung muß vor sich gegangen sein, ehe mächtige Sedimentmassen sich darübergelagert hatten; sie kann nicht in einer spätern Periode durch die herabsickernden atmosphärischen Wasser bewirkt worden sein.

Durch welchen chemischen Prozeß die Umsetzung der Kalkschalen und -Gerüste in Dolomit bewirkt worden sei, wissen wir nicht zu sagen, wenn auch die Annahme kaum abzuweisen sein wird, daß die Magnesiasalze des Meerwassers das Material zur Dolomitisierung geliefert haben. Ebensowenig haben wir einen Anhaltspunkt für die Beantwortung der Frage,

warum die eine Schicht dolomitisiert worden ist und die andre nicht; nur so viel ist sicher, daß in Fällen, wie sie eben bezeichnet worden, der Prozeß mit dem Akte der Sedimentbildung in unmittelbarem Zusammenhange stehen muß. Daß ein Vorgang wie der hier in Anspruch genommene einer sofortigen Dolomitisierung neuerdings gebildeter Kalkabsätze überhaupt in den Bereich der Möglichkeit und Wirklichkeit gehört, wird durch die Untersuchungen von Dana bewiesen, der gezeigt hat, daß der rezente Riffstein der Koralleninsel Mathea aus Dolomit besteht.

Noch heute wie vor 60 Jahren, als L. von Buch seine epochemachenden Untersuchungen in Südtirol, im Fassathale und bei Trient anstellte, ist uns die Dolomitbildung ein Rätsel, das der Lösung wartet, und in dessen Wesen wir noch wenig eingedrungen sind.

---

8. Massengesteine.

Inhalt: Die Zusammensetzung der Massengesteine. — Chemische und mikroskopische Untersuchung der Massengesteine. — Einteilung der Massengesteine. — Die wichtigsten Gesteinstypen. — Die Entstehung der Massengesteine.

Die Zusammensetzung der Massengesteine.

Die Sedimentgesteine tragen den Stempel ihrer Entstehung, des Absatzes aus dem Wasser, in unverkennbarer Weise in dem Auftreten der Schichtung an sich. Mag diese auch bei manchen Vorkommnissen undeutlich werden und zurücktreten, immer wird eine umfassendere Betrachtung, welche die Verhältnisse im großen auffaßt, diesen fundamentalen Charakter bei allen Gliedern dieser Gruppe hervortreten lassen. Im Gegensatze dazu finden wir eine zweite große Kategorie von Gesteinen, bei welchen die Fundamentalerscheinung der Schichtung fehlt. Sie haben durch ihre ganze Ausdehnung eine gleichartige Struktur, häufig eine unregelmäßige Zerklüftung, oder zeigen eine regelmäßige Abscheidung in gröbere Formelemente, welche einem spätern, innerhalb der Masse vor sich gehenden Prozesse ihre Entstehung verdankt. Diese Gebirgsglieder, als deren typische und allgemein bekannte Vertreter die Granite, Porphyre, Syenite, Basalte, Trachyte, Serpentine neben vielen andern gelten können, bezeichnen wir als massige Gesteine oder Massengesteine (s. Abbildung, S. 591).

War bei den Schichtgebilden eine sehr bedeutende Mannigfaltigkeit der chemischen Zusammensetzung vorhanden, finden wir in Kalksteinen und Dolomiten, in Steinsalz und Gips, in der Steinkohle und Braunkohle, in Thonen und Thonschiefern, in Sandsteinen und Quarziten stofflich weit voneinander abweichende Typen, so herrscht bei den massigen Felsarten in dieser Hinsicht große Einförmigkeit. Sie gehören alle zu den Silikaten, d. h. sie bestehen in ihrer Gesamtzusammensetzung aus Kieselsäure in Verbindung mit einigen andern Stoffen, unter denen Thonerde, Eisenoxyd, Eisenoxydul, Magnesia, Kalk, Kali und Natron die Hauptrollen spielen, während andre nur untergeordnet sind. Größer sind die Verschiedenheiten in den Mengungsverhältnissen der einzelnen Substanzen; vorherrschend ist in der Regel die Kieselsäure, deren Menge zwischen 40 und 80 Prozent der Gesamtmasse zu schwanken pflegt, während diese Grenze nach oben oder nach unten nur ausnahmsweise um ein Geringes überschritten wird. Je nachdem nun dieser Bestandteil an Kieselsäure in größerer oder geringerer Menge vorhanden ist, unterscheidet man kieselsäurereiche

und kieselsäurearme oder, nach der der Chemie entlehnten Ausdrucksweise, saure und basische Gesteine. Auch die Mengeverhältnisse der übrigen Bestandteile sind schwankend, manche derselben fehlen oft ganz, während die andern um so stärker hervortreten; so besteht z. B. der Serpentin fast nur aus Kieselsäure, Magnesia, Eisenoxydul und Wasser.

Trotz dieser Schwankungen ist der stoffliche Bestand der Massengesteine ein sehr einförmiger. Um so wunderbarer ist dagegen die wechselnde Mannigfaltigkeit, mit welcher die einzelnen Teile sich zu Mineralien gruppieren. Dadurch werden gerade diese Felsarten zum hervorragendsten und wichtigsten Gegenstande der Gesteinslehre oder Petrographie, welche namentlich in neuerer Zeit, seitdem die Benutzung des Mikroskopes auf das Studium der Gesteine in Anwendung gekommen ist, einen riesigen Aufschwung genommen hat und für die gesamte geologische Auffassung von größter Bedeutung geworden ist. Der Geolog kann, wenn er sein Feld nicht einseitig bebauen will, die Gesteinslehre ebensowenig entbehren wie die Kenntnis der fossilen Pflanzen und Tiere, die Paläontologie; aber der eine Wissenszweig bildet so wenig wie der andre einen Teil der Geologie, sie sind unentbehrliche



Granit und geschichtete Gesteine (nach Hayden). g Granit. Vgl. Text, S. 590.

Hilfsdisziplinen dieser, aber auch eigengeartete und eigenberechtigte Forschungsgebiete, die nur in selbständiger Entwickelung ihre Aufgabe voll erreichen können.

Die Gesteinslehre ist in allen ihren Methoden nichts andres als angewandte Mineralogie, welche für die uns hier beschäftigenden bestimmten speziellen Zwecke gewisse Untersuchungsarten schärfer und spezieller ausgebildet hat, und sie beruht, wie die Mineralogie, auf den Grundsätzen der Chemie und Physik. Vertrautheit mit der Mineralogie, namentlich mit allen chemischen und physikalischen Eigenschaften der häufigsten „gesteinsbildenden" Mineralien, ist deshalb zum Verständnisse der Gesteinslehre absolut notwendig. Dieser Umstand erschwert uns aber das Eingehen auf diesen Gegenstand um so mehr, als gerade hier eine Nachhilfe durch Abbildungen nur bei einzelnen Punkten möglich ist, während die charakteristischen Merkmale der Gesteine und Mineralien in der Zeichnung nicht wiederzugeben sind. Hier gibt es nur ein Mittel: selbst sehen, und wer auch nur oberflächlich sich über diesen Gegenstand unterrichten will, muß eine kleine Sammlung der Hauptfelsarten, womöglich auch der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien zu seiner Verfügung haben. Diesen Schwierigkeiten einer geeigneten Darstellung gegenüber wird es gerechtfertigt erscheinen, wenn wir nur einige unerläßliche oder dem Verständnisse verhältnismäßig leicht zugängliche Punkte aus der beschreibenden Gesteinslehre hervorheben.

Nur sehr wenige Massengesteine bestehen, wie etwa der Serpentin, ihrer ganzen Masse nach bloß aus einem einzigen Minerale, die übergroße Mehrzahl ist aus einem Gemenge mehrerer verschiedenartiger Mineralien zusammengesetzt, z. B. der Granit aus Feldspat, Quarz und Glimmer, welche daher als die wesentlichen Gemengteile des Granites bezeichnet

werden; außer diesen finden sich oft noch andre Mineralien ziemlich regelmäßig, aber doch im Verhältnisse zu jenen in verschwindend kleiner Masse eingestreut, die „accessorische" Gemengteile genannt, doch unter Umständen sehr charakteristisch sind; so finden sich im Granite oft Apatit, Turmalin, Epidot, Granat ꝛc. Die erste Aufgabe bleibt jedenfalls die Erkennung der Mineralien, welche wesentlich an der Zusammensetzung der Gesteine teilnehmen. Bei der geringen Größe und undeutlichen Ausbildung, welche diese Mineralien häufig besitzen, ist dies eine oft sehr schwierige Aufgabe, doch ist die Zahl der Mineralien, welche in dieser Beziehung wichtig sind, nicht groß; nur ganz wenige sind sehr verbreitet.

In erster Linie ist unter diesen der Quarz zu nennen, reine Kieselsäure, die in der Form des sechsseitigen Kristallsystemes entweder von sechsseitigen Säulen oder Pyramiden ausgebildet ist. Deutlich ausgebildete Kristalle kommen in einer für das freie Auge wahrnehmbaren Größe in den Massengesteinen selten vor, meist tritt er hier in gerundeten, halbdurchsichtigen oder durchscheinenden Körnern von gewöhnlich grauer Farbe auf, die muschelig brechen und Glasglanz oder Fettglanz zeigen. Außerdem unterscheidet er sich von den andern sehr häufig vorkommenden Mineralien, die wesentlichen Anteil an der Bildung der Massengesteine nehmen, durch seine Härte; keins unter diesen ist im stande, Quarz zu ritzen, während ein scharfer Quarzsplitter die verschiedenen Feldspate, Augit, Hornblende zu ritzen vermag. Auch ist der Quarz härter als der Stahl, und weder eine Feile noch die Messerspitze, dieses ebenso primitive wie nützliche petrographische Instrument, greifen ihn an.

Eine zweite sehr wichtige Gruppe von Mineralien bilden die Feldspate, unter ihnen in erster Linie der Kalifeldspat oder Orthoklas, der wesentlich aus Kieselsäure, Thonerde und Kali besteht. Seiner Kristallgestalt nach gehört der Orthoklas dem sogenannten monoklinen Systeme an und ist dadurch charakterisiert, daß er ausgezeichnete Spaltbarkeit nach zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen besitzt, so daß man bei jeder Spaltung die glänzenden Spaltungsflächen zu sehen bekommt; die Farbe ist weiß, lichtgrau, rötlich, rot oder auch grün, mit Glasglanz. Von dem häufig mit ihm vergesellschafteten Quarze ist der Orthoklas leicht durch seine spiegelnden, ebenen Spaltungsflächen zu unterscheiden. Als eine besondere Abart des Orthoklas verdient der namentlich in den Trachytgesteinen vorkommende Sanidin hervorgehoben zu werden, welcher sich durch auffallenden Glasglanz und durch rissige Beschaffenheit seiner Kristalltafeln auszeichnet. Wer je das Gestein vom Drachenfels bei Bonn betrachtet hat, aus dem manche ältere Teile des Kölner Domes gebaut sind, dem sind auch gewiß die großen, tafelförmigen Kristalle des Sanidin aufgefallen, welche in diesem Gesteine vorkommen.

Eine zweite Gruppe von Feldspaten, die ebenfalls von großer Bedeutung ist, bezeichnet man als Plagioklase, eine Reihe nahe miteinander verwandter, in ihrer chemischen Zusammensetzung aber weit voneinander abweichender Minerale. In ihrer Kristallgestalt stehen sie zwar dem Orthoklas nahe, gehören aber einem andern, dem triklinen, Systeme an. Sie sind ebenfalls durch deutliche Spaltbarkeit ausgezeichnet, und da auch Farbe und Glanz kein entscheidendes Merkmal dem Orthoklas gegenüber bilden, so läßt nur die aufmerksamere Betrachtung beide mit Sicherheit trennen; die Plagioklaskristalle bestehen nämlich fast immer aus zahlreichen miteinander verwachsenen Lamellen, die sich auf den Hauptspaltungsflächen durch eine feine, namentlich unter der Lupe in der Regel deutliche Streifung kenntlich machen.

Zwei weitere Mineralgattungen, die selbst wieder in eine Reihe von Abänderungen zerfallen, sind der Augit (Pyroxen) und die Hornblende; beide bestehen der Hauptsache nach aus Kieselsäure mit Kalk, Magnesia oder Eisenoxydul. Der wesentliche Unterschied zwischen Augit und Hornblende liegt in ihrer kristallographischen Ausbildung, die zwar

einem und demselben, nämlich dem monoklinen, Systeme angehört, aber verschiedene Kristallwinkel zeigen; Augit ist meist unvollkommen, Hornblende sehr vollkommen spaltbar. Beide Mineralien erscheinen in den Gesteinen fast immer schwarz, bisweilen mit einem Stiche ins Grüne. Sie sind leicht zu unterscheiden, wo der Spaltungswinkel sichtbar ist, der beim Augit sich nicht weit von einem rechten entfernt, während er bei der Hornblende ungefähr 124°, resp. 56° beträgt; wenn es sich dagegen um kleine Partien handelt, bei welchen dieses Kennzeichen nicht zu sehen ist, wird in der Regel der Umstand leiten können, daß die Spaltungsflächen der Hornblende bedeutend glänzender sind als die des Augites, und daß fast nur der erstere sehr lang-nadelförmige Partien enthält.

Zum Schlusse dieser Aufzählung der petrographisch wichtigen Mineralvorkommnisse mag noch der **Glimmer** genannt werden. Wohl jedermann ist mit der Beschaffenheit dieser in feinste durchsichtige Blätter spaltbaren Körper bekannt; vom wissenschaftlichen Standpunkte aus bilden aber die Glimmer eine überaus komplizierte Erscheinungsgruppe, über welche die Angabe genügen mag, daß für eine rasche Orientierung meist die Unterscheidung zwischen weißem und dunklem Glimmer genügt, von denen der erstere auch als Kaliglimmer oder Muskowit, der letztere als Magnesiaglimmer oder Biotit genannt wird.

Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Augit, Hornblende, weißer und dunkler Glimmer, diese sieben Mineralien spielen in der Zusammensetzung der Massengesteine die größte Rolle. Neben ihnen sind allerdings noch andre, wie Leucit, Nephelin, Granat, Turmalin, Diallag, Epidot, Olivin, Magneteisen, von Wichtigkeit, können sich aber doch mit den genannten Arten an Bedeutung nicht messen. Wer jene sieben Mineralien sich eingeprägt hat und sie unter nicht allzu schwierigen Verhältnissen wiederzuerkennen vermag, wird wenigstens die gewöhnlichsten grobkörnigen Gesteine zu bestimmen im stande sein und jenen Grad von Vorkenntnissen besitzen, dessen etwa ein Reisender in einer fernen, selten besuchten Gegend bedarf, um, ohne Geolog von Fach zu sein, doch brauchbare Beobachtungen anstellen zu können. Diesen Grad der Fertigkeit kann sich mit Hilfe einer kleinen Gesteinssammlung jeder leicht beschaffen, der nur über einige Beobachtungsgabe verfügt. Sehr häufig treten aber die Mineralgemengteile der Massengesteine in so kleinen Partien, so feinkörnig auf, daß eine genaue Untersuchung mit freiem Auge oder mit der Lupe die Merkmale nicht mehr deutlich zeigt, oder daß die einzelnen Bestandteile gar nicht mehr zu unterscheiden sind und das ganze Gestein aus einer homogenen Masse zu bestehen scheint. In solchen Fällen sind allerdings kompliziertere Methoden schon von vornherein notwendig, die ja auch bei der Untersuchung der grobkörnigen Abänderungen unerläßlich sind, sobald es sich um ein Studium der Felsarten handelt.

Chemische und mikroskopische Untersuchung der Massengesteine.

Zur wirklichen Kenntnis eines Gesteines ist die vollständige chemische und physikalische Prüfung nötig. Die **chemische** Kenntnis eines Gesteines in seiner Gesamtheit festzustellen, ist verhältnismäßig eine der einfachsten Aufgaben; es genügt dazu, ein frisches, unverwittertes Stück zu pulvern und das Pulver nach den gewöhnlichen Regeln der Chemie einer Analyse zu unterziehen. Weit verwickelter wird die Sache, wenn es sich darum handelt, die Zusammensetzung der einzelnen mineralischen Gemengteile zu erhalten. Wo, wie in gewissen Graniten &c., die Mineralien in oft mehr als zollgroßen Partien auftreten, wird es allerdings leicht, reines Material zu gewinnen, doch ist es noch erforderlich, mikroskopische Proben daraufhin zu machen, ob keine fremden Beimengungen vorhanden sind; bei feinkörnigern Vorkommnissen gelingt aber die Aufgabe selbst mit den raffiniertesten Methoden nicht immer. Wenn es glückt, sowohl die Gesamtzusammensetzung des Gesteines als auch

alle einzelnen Mineralien festzustellen, dann kann daraus auch berechnet werden, in welchem Verhältnisse die letztern an dem Aufbaue der Felsart teilnehmen.

Von nicht geringerer Bedeutung als die chemische ist die Untersuchung unter dem Mikroskope. Für diese ist es zunächst notwendig, sich durchsichtige Dünnschliffe anzufertigen: man schlägt von dem zu studierenden Gesteine ein möglichst plattes Stückchen ab, schleift es auf einer gußeisernen, mit grobem Schmirgel bestreuten Platte, bis es auf einer Seite eben ist, glättet die nun noch ziemlich rauhe Oberfläche auf einer matten Glastafel mit feinem Schmirgel und poliert sie endlich etwa durch Reiben auf glattem Papiere. Nun wird das Stück mit seiner geschliffenen Fläche vermittelst Kanadabalsames an ein gewöhnliches Objektglas angekittet; man erwärmt zu diesem Zwecke das Glas, streicht etwas Kanadabalsam auf dasselbe, erhitzt diesen über einer Gas- oder Weingeistflamme und legt den ebenfalls vorher erwärmten Stein auf, der beim Erkalten des Balsames angekittet bleibt. Bei dieser Prozedur ist einige Vorsicht nötig. In erster Linie ist dafür zu sorgen, daß der Balsam beim Erstarren die richtige Konsistenz erhält, indem man ihn weder zu stark noch zu schwach erhitzt; er soll nach dem Erkalten vom Fingernagel keinen Eindruck annehmen und sich mit dem Messer abschaben lassen, ohne zu springen. Ist er noch weich infolge zu schwacher, oder spröde infolge zu starker Erhitzung, so geht das Präparat bei der weitern Behandlung zu Grunde, die Gesteinslamelle zerreißt beim weitern Schleifen. Eine zweite zu treffende Vorsicht gilt der Vermeidung oder Entfernung von Luftblasen zwischen dem Gesteinsstücke und dem Balsame; haben sich solche gebildet, so muß man sie durch vorsichtiges Erwärmen und durch Hin- und Herschieben und Drehen des Präparates auszutreiben suchen. Nach der Vollendung des Aufklebens wird auch die zweite, noch unbearbeitete Seite des Stückes in der angegebenen Weise abgeschliffen, wobei man die Ränder des Objektglases mit den Fingern faßt und die Schleifbewegung auf der Eisenplatte vornimmt. Die Operation muß so lange fortgesetzt werden, bis die erforderliche Dünne erreicht ist, was in der Regel erfolgt ist, wenn man gewöhnliche Druckschrift durch die Gesteinslamelle hindurch lesen kann. Nähert man sich diesem Punkte, so muß die Operation oft unterbrochen, das Präparat abgewaschen und mit der Lupe untersucht werden; schleift man zu lange, so wird alles weggerissen, und man entdeckt plötzlich zu seiner unangenehmen Überraschung, daß das Gestein verschwunden ist und man das leere Objektglas in der Hand hält. Bei sehr dunkeln und namentlich an Magneteisenpartien reichen Gesteinen kann oft der gewünschte Grad von Durchsichtigkeit nicht erreicht werden; wann hier mit dem Reiben aufgehört werden soll, kann nur die Erfahrung lehren, und niemand wird zu einer gewissen Fertigkeit gelangen, ohne Lehrgeld gezahlt und einige Male den Ärger erlebt zu haben, nach stundenlanger Arbeit ein Präparat sich unter den Händen verschwinden zu sehen.

Wenn der Schliff die nötige Durchsichtigkeit erreicht hat, löst man ihn in der Regel von dem beim Schleifen stark zerkratzten Glase ab und befestigt ihn auf ein neues Objektglas, nachdem man ihn mit Wasser und einem Pinsel vom anhängenden Schmirgelschlamme ꝛc. gereinigt hat. Endlich wird über dem Schliffe ein sogenanntes Deckgläschen mit Kanadabalsam aufgeklebt, der außerhalb desselben befindliche Balsam abgeschabt und eine Etikette mit der Angabe des Gesteines und seines Fundortes aufgeklebt.

Durch die Beobachtung des so gewonnenen Dünnschliffes unter dem Mikroskope in durchfallendem Lichte wird nicht nur ermöglicht, die scheinbar homogenen „aphanitischen" Gesteine in ein körniges Mineralgemenge zu zerlegen, die einzelnen Bestandteile zu bestimmen und diese Vorkommnisse von wirklich ganz oder teilweise gleichmäßigen Gebilden zu unterscheiden, sondern auch die grobkörnigern Felsarten weit zuverlässiger zu deuten, und überdies enthüllt die Vergrößerung eine Menge von Struktureigentümlichkeiten, welche für das Verständnis des Wesens und der Entstehung der Gesteine von fundamentaler Wichtigkeit

sind. Mit der Einführung des Mikroskopes in die Petrographie hat diese eine vollständige Umgestaltung und einen riesigen, ungeahnten Aufschwung erfahren. Kurz vor diesem Zeitpunkte war eine Periode eingetreten, in welcher sich das mineralogische Studium der Gesteine fast erschöpft hatte; es war eine Stagnation eingetreten, während deren nur noch die chemische Methode thätig betrieben wurde. Das Verdienst, zuerst Dünnschliffe von Gesteinen in rationeller Weise untersucht, die Bedeutung dieser Methode erfaßt und eine Reihe wichtiger Beobachtungen auf diesem Wege gemacht zu haben, gebührt dem englischen Forscher Sorby, der den ersten Aufsatz über diesen Gegenstand im Jahre 1851 veröffentlichte; trotzdem blieb die Sache wenig beachtet, bis F. Zirkel seine Arbeiten auf diesem Gebiete begann und nicht nur eine erhebliche Erweiterung und Vertiefung der Methode und der Resultate herbeiführte, sondern auch allgemein der Überzeugung Geltung verschaffte, daß ein Studium der Gesteine ohne die Anwendung des Mikroskopes nicht mehr möglich sei.

In gewisser Hinsicht leistet allerdings der Dünnschliff weniger als ein gewöhnliches Gesteinsstück, er zeigt nur den Durchschnitt der einzelnen Mineralteile, nicht ihre plastische Gestalt; den sehr reichlichen Ersatz dafür bietet aber nicht nur die Vergrößerung des Bildes, sondern noch mehr die Möglichkeit der Anwendung polarisierten Lichtes, die bei der mikroskopischen Untersuchung der Gesteine eine sehr große Rolle spielt. Wir können hier nicht auf das Wesen der Polarisation des Lichtes eingehen, deren Erklärung zu den schwierigern Kapiteln der Optik gehört und eine streng mathematische Behandlung voraussetzt. Das Licht ist eine Schwingung des Äthers, und bei gewöhnlichem Lichte schwingen die einzelnen Ätherteilchen nach allen möglichen Richtungen; „polarisiert" wird das Licht genannt, bei welchem die Schwingungen der Ätherteilchen alle nach bestimmter Richtung orientiert sind. Es werden verschiedenartige Hilfsmittel angewandt, um das Licht zu polarisieren, für unsre Zwecke verwendet man Kalkspatkristalle. Fällt ein Lichtstrahl auf ein Kalkspatrhomboeder, so wird dasselbe gebrochen, und es treten auf der entgegengesetzten Seite zwei Strahlen aus, welche beide in der Weise polarisiert sind, daß die Schwingungsebene der Ätherteilchen des einen Strahles senkrecht zu der des andern steht. Für den Gebrauch am Mikroskope wird der Kalkspat zu einem Prisma geschliffen, durch welches nur der eine der beiden Strahlen das Auge des Beobachters trifft, während der andre abgeleitet wird, so daß man nur nach einer Richtung polarisiertes Licht empfängt. Die Einrichtung ist so getroffen, daß, wie an jedem Mikroskope bei der Arbeit mit durchfallendem Lichte, unter dem Rohre ein Spiegel angebracht ist, durch welchen das erforderliche Licht in das Rohr des Mikroskopes geleitet wird; zwischen den Spiegel und das untere Ende des Mikroskopes wird ein Kalkspatprisma („Nicolsches Prisma" oder kurzweg „Nicol" genannt) eingeschaltet. Ein zweiter Nicol befindet sich am obern Ende des Rohres, so daß also das Licht durch zwei polarisierende Prismen hindurchgeht, ehe es das Auge trifft.

Es gehört zu den merkwürdigen Eigentümlichkeiten des polarisierten Lichtes, die wir hier nicht erklären, sondern nur einfach als Thatsachen hinnehmen können, daß der obere Nicol unter bestimmten Verhältnissen das Licht, welches durch den untern gegangen ist, vollständig hindurchläßt, unter andern Bedingungen dagegen vollständig absorbiert, so daß das Gesichtsfeld ganz dunkel erscheint. Das erstere findet statt, wenn die beiden Prismen mit ihren optischen Achsen parallel gestellt sind, das letztere, wenn sie einen rechten Winkel miteinander bilden. Der obere Nicol ist daher so eingerichtet, daß er einfach mit der Hand um seine Achse gedreht werden kann, und wenn man denselben nun eine ganze Umdrehung machen läßt, so wird dabei natürlich seine optische Achse zweimal der des untern Nicols parallel stehen und zweimal dieselbe kreuzen; sieht man also, während man den Nicol einmal umdreht, durch das Mikroskop, so wird das Gesichtsfeld zweimal ganz hell und zweimal ganz dunkel erscheinen. An diesem Verhältnisse wird nichts geändert, wenn man

zwischen die beiden Nicols eine durchsichtige Platte aus einem nicht kristallisierten, einem „amorphen“, Materiale, z. B. aus Glas, einschiebt oder einen Körper, der in dem sogenannten regulären oder tesseralen Systeme kristallisiert, wie Kochsalz, Alaun, Flußspat, Granat ꝛc. Anders verhält es sich aber, wenn man eine Lamelle einer Substanz einschiebt, die in einem der fünf andern Kristallsysteme ausgebildet ist. Hexagonale oder tetragonale Mineralien haben nur eine einzige, rhombische, monokline und trikline nur zwei Richtungen, in der sie keine Modifikation hervorbringen; in allen andern Direktionen dagegen verändern sie das Verhalten des polarisierten Lichtes in mehr oder weniger bedeutender Weise. Alle diese Körper sind doppelbrechend, und ein Durchschnitt eines solchen Kristalles bewirkt eine Umpolarisierung des Lichtes, so daß er mit leuchtender Farbe, rot, blau, gelb ꝛc., erscheint und zwar auf dunklem Grunde bei gekreuzten, auf hellem bei parallel gestellten Nicols. Bei einer Drehung des obern Nicols verändert sich dabei jede Farbe in ihre Komplementärfarbe: erscheint der Kristall bei parallelen Nicols rot, so wird er bei gekreuzter Stellung derselben grün; war er blau, so erscheint er dann gelb und umgekehrt.

Wird nun der zu untersuchende Gesteinsdünnschliff unter das Mikroskop gebracht, so können, da die Glasbestandteile des letztern sich ganz passiv verhalten, nur die einzelnen Mineralkörner des Schliffes modifizierend auf das polarisierte Licht wirken. Hierdurch erhalten wir zunächst ein Mittel, amorphe und reguläre Substanzen von den übrigen zu unterscheiden; überdies aber tritt durch die intensive Färbung das ganze Bild und die Grenzen der einzelnen Teile sehr viel deutlicher hervor, und fast jedes Mineral zeigt, unter diesen Verhältnissen betrachtet, so viele Eigentümlichkeiten, daß man mit sehr wenigen Ausnahmen alle in den Gesteinen häufig auftretenden Mineralien auf diesem Wege leicht unterscheiden kann. (S. die beigeheftete Tafel „Mikroskopische Vergrößerung von Dünnschliffen“.) Der Quarz erscheint, ohne Polarisation betrachtet, unter dem Mikroskope farblos, bei Anwendung der Nicols zeichnet er sich durch Glanz und lebhafte Farbe aus. Der Orthoklas, dessen Kristalle fast immer sogenannte Zwillinge sind, d. h. aus zwei verwachsenen Kristallindividuen bestehen, zeigt bei Anwendung der Vergrößerung die Trennungslinie zwischen den beiden Hälften, und diese sind im polarisierten Lichte auffallend verschieden gefärbt. An den Plagioklasen, die schon bei der Betrachtung mit freiem Auge die Zwillingsstreifen erkennen lassen, treten die einzelnen miteinander verwachsenen Lamellen nun sehr deutlich und zwar zwischen den Kalkspatprismen als bunte Streifen hervor. Hornblende und Augit sind auch im polarisierten Lichte nicht leicht zu unterscheiden; sie sind beide unter dem Mikroskope grünlich oder bräunlich. Am besten sind sie nach den Untersuchungen von Tschermak in der Weise zu trennen, daß man den obern Nicol entfernt und den untern Nicol dreht; bei dieser Drehung wird Hornblende in merklicher Weise abwechselnd heller und dunkler, während Augit fast unverändert erscheint.

Es erfordert natürlich sehr genaue Kenntnis, sehr viel Sorgfalt und Übung, um alle Mineralien auf diese Weise unterscheiden zu können. Überdies ist es von geringem Werte, sich rein mechanisch die Merkmale der Mineralien einzuprägen; ein Kenner der Gesteine muß die Erscheinungen verstehen, die Ursachen jeder einzelnen, ihre Begründung in der Natur des Kristalles und in den Gesetzen der Optik erfaßt haben und von jeder neuen Beobachtung sich sofort Rechenschaft geben können. Nur dann wird er im stande sein, die Methoden zu erweitern oder neue zu finden, und wird den häufig vorkommenden Unregelmäßigkeiten und Abweichungen nicht ratlos gegenüberstehen.

Statt den Einzelheiten in der Unterscheidung der Mineralien nachzugehen, müssen wir uns den Eigentümlichkeiten in der Struktur der Gesteine zuwenden, welche für die ganze Auffassung der Entstehung dieser letztern von Bedeutung sind. Es wurde schon

1.



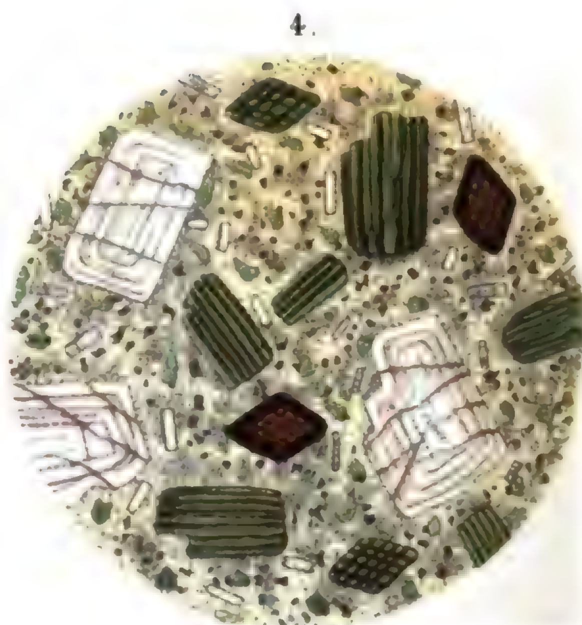
2.



3.



4.



5.



6.



Mikroskopische Vergrößerung von Dünnschliffen.

1) **Granit** aus dem französischen Departement Nièvre. Etwa 60fache Vergrößerung, in polarisiertem Lichte bei gekreuzten Nicols. Der Quarz, in zwei größern Partien (die eine oben, die andre rechts), erscheint lichtgelblich; Orthoklas (oben, nahe der Mitte und unten) ist durch graublaue Färbung und Scheidung in breite Bänder, entsprechend der Zwillingsbildung, ausgezeichnet, während bei dem intensiv blauen Plagioklas (rechts oben und links unten) die zahlreichen parallelen Streifen klar hervortreten. Der mehrfach auftretende schwarze Glimmer hat seine grüne, rote, gelbe und blaue Streifung. Außerdem sind noch accessorische Mineralien bemerkbar, unter welchen Epidot durch seine intensiv grüne Färbung hervortritt. (Nach Fouqué und Michel Levy.)

2) **Quarzporphyr** von Wurzen in Sachsen, in gewöhnlichem Lichte, bei etwa 150facher Vergrößerung. Besonders beachtenswert ist die Grundmasse, in welcher die Kristalle von Quarz, Feldspat und Glimmer (grün) liegen. Dieselbe war ursprünglich glasig, ist aber durch allmähliche Umänderung „entglast", d. h. in zarte Kristallelemente aufgelöst. Man sieht in der Grundmasse deutlich die Fluidalstruktur, d. h. die Strömungsrichtungen, in welchen sich während des Erstarrens die Teilchen bewegten. (Nach Vogelsang.)

3) **Obsidian** aus Nevada, glasig, mit ausgezeichneter Fluidalstruktur. (Nach Zirkel.)

4) **Propylit**, eine Trachytvarietät aus Nevada, in gewöhnlichem Lichte. In der Grundmasse weißer Plagioklas und grüne und braune Hornblende. (Nach Zirkel.)

5) **Hornblende-Andesit** aus Frankreich (Cantal). In polarisiertem Lichte, bei etwa 60facher Vergrößerung. In einer aus winzig kleinen Feldspatkriställchen, Oligoklas-Mikrolithen, bestehenden Grundmasse liegen große, gestreifte Kristalle von Plagioklas und kleine, lebhaft gefärbte Kristalle von Augit und Hornblende. (Nach Fouqué und Michel Levy.)

6) **Basalt** aus Nevada, in gewöhnlichem Lichte. In einer aus feinen Körnern von Augit und Magneteisen gebildeten Grundmasse liegen größere Kristalle von Olivin (gelb) und kleinere, farblose Kristalle von Plagioklas. (Nach Zirkel.)

erwähnt, daß zwar ein großer Teil der dem freien Auge als dicht erscheinenden Gesteine sich unter dem Mikroskope als ganz aus individualisierten, kristallinischen Mineralkörnern bestehend darstellt, daß aber bei sehr vielen auch dies nicht der Fall ist, sondern eine selbst bei starker Vergrößerung noch homogene, amorphe Grundmasse vorliegt. Vor allem wichtig ist die Glasmasse, welche die Hauptrolle unter den amorphen Substanzen in den Massengesteinen spielt. Oft bildet sie den größten Teil des Gesteines, in das nur einzelne kristallinische Partien gleichsam schwimmend eingestreut sind, bald ist sie in geringerer Menge vorhanden oder nur in kleinen Partien zwischen den dominierenden körnigen Mineralien gelagert. Bei normaler Ausbildung ist sie durchsichtig, mehr oder weniger gelblich-bräunlich, bisweilen auch farblos und erscheint bei gekreuzten Nicols ganz schwarz; ein Gestein, aus vorwiegender Glasmasse bestehend, mit einzelnen eingestreuten Kristallpartien bietet, in dieser Weise unter dem Mikroskope betrachtet, einen wunderbaren Anblick: das Glas ist tiefschwarz, und aus dem dunkeln Grunde treten die Kristalle in prachtvoll leuchtenden Farben hervor.

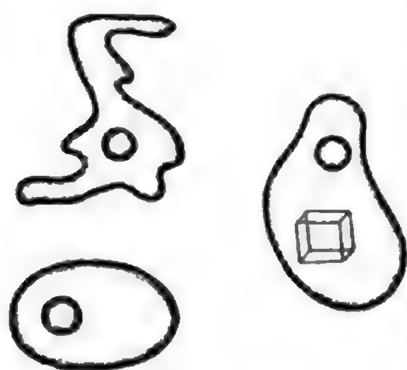
Die glasige Ausbildung tritt aber nicht immer in voller Reinheit hervor; oft ist in derselben die kristallinische Individualisierung bald im ersten Beginne, bald weiter vorgeschritten zu beobachten, indem zahllose winzig kleine Kristallnädelchen, sogenannte Mikrolithen, auftreten. Dieselben können sich in solcher Menge zusammendrängen, daß sie eine vollständige Entglasung bewirken. Häufig findet man diese Mikrolithen ganz regellos gruppiert, oft aber auch in einer eigentümlichen Gruppierung zu Zügen oder Schwärmen, einer sogenannten „Fluidalstruktur", deren Bedeutung wir noch zu besprechen haben werden.

Das Auftreten von Glasmasse ist entscheidend für die Frage der Entstehung der Massengesteine. Gläser entstehen überall da, wo geschmolzene Silikatmassen verhältnismäßig rasch erkalten und erstarren, sei es im Laboratorium, in der Glashütte oder in der Natur; wenn vollständig geschmolzene vulkanische Produkte rasch in festen Zustand übergehen, dann entstehen die natürlichen Gläser, Obsidian, Bimsstein ꝛc. Eine andre Entstehungsweise als aus dem Schmelzflusse ist unbekannt; deshalb dürfen wir auch bei allen ältern Gesteinen mit Glasstruktur mit Sicherheit voraussetzen, daß sie aus einem heißen Schmelzflusse erstarrt seien, und haben darin ein überaus wertvolles und entscheidendes Kriterium für die endlos diskutierte Frage nach der Entstehung der Basalte und andrer ähnlicher Felsarten. Aus diesem Grunde ist auch das vereinzelte, allerdings oft schwer nachweisbare Auftreten mikroskopischer Einschlüsse von Glassubstanz in den Kristallen sonst durchaus körniger Gesteine wichtig.

Wir kommen damit zu der interessanten Erscheinung mikroskopischer Einschlüsse in den Mineralien. Am häufigsten kommen dieselben in Form winziger kleiner Nadeln, sogenannter Mikrolithen, vor; außer ihnen finden sich „Gaseinschlüsse" und „Flüssigkeitseinschlüsse". Diese letztern treten in manchen Gesteinen und ihren Mineralien nicht allzu selten in so großen Dimensionen auf, daß sie mit freiem Auge sehr deutlich sichtbar sind; aber solche Vorkommnisse sind doch zu vereinzelt, um für die Charakterisierung der Gesteine im allgemeinen von Bedeutung zu sein. Anders verhält es sich dagegen mit den mikroskopisch kleinen Poren, die in manchen Felsarten in sehr großer Menge vorhanden sind, aber nur in den klarsten und durchsichtigsten Mineralien derselben, besonders im Quarze, deutlich und leicht sichtbar werden. Die Größe dieser Einschlüsse ist eine sehr verschiedene; die umfangreichsten haben im Durchmesser kaum mehr als den zwanzigsten Teil eines Millimeters, während die kleinsten selbst bei tausendfacher Vergrößerung nur als winzige Punkte erscheinen. Bei geringem Umfange sind sie meist kugelig oder eiförmig, die ansehnlichern haben gewöhnlich einen unregelmäßigen Umriß mit Verästelungen und schlauchförmigen Anhängen. In manchen Vorkommnissen, namentlich oft in Quarzen, aber auch in Feldspaten und andern Mineralien, sind sie in zahlloser Menge zusammengehäuft, so daß man Hunderte von ihnen im Gesichtsfelde des Mikroskopes bei einander liegend sehen kann.

Die meisten Flüssigkeitseinschlüsse enthalten ein Gasbläschen, die „Libelle" (s. untenstehende Abbildung), das bei manchen sich ganz ruhig verhält oder nur bei einem Stoße zittert oder auch bei einer Neigung die Lage verändert, bei andern dagegen unablässig in Bewegung ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in den anstehenden Felsen diese Bläschen sich ebenso verhalten, daß in jedem Granitblocke Millionen derselben in fortwährendem Tanze sich bewegen. Zwar ist es eine befremdende Vorstellung, daß in den festesten Felsen ein fortwährendes zuckendes Pulsieren dieser kleinsten Teilchen stattfinden soll; aber doch können wir gegen deren Richtigkeit nicht die mindeste Einwendung erheben.

Von hohem Interesse sind die Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit dieser Einschlüsse. Sehr viele, ja wohl die Mehrzahl bestehen aus Wasser, das entweder rein ist, oder nur einen verhältnismäßig geringen Teil eines Salzes gelöst oder etwas Gas absorbiert enthält; in andern aber befindet sich eine gesättigte Salzlösung, in der man bisweilen einen kleinen, würfelförmigen Kristall von Kochsalz ausgeschieden liegen sieht. Am merkwürdigsten ist jedoch das Vorhandensein reiner, flüssiger Kohlensäure, die als Flüssigkeitseinschluß namentlich von Vogelsang durch außerordentlich feine Experimente nachgewiesen wurde. Die Kohlensäure ist bekanntlich ein Gas, das nur unter dem sehr hohen Drucke von 36 Atmosphären bei einer Temperatur von 0° flüssig wird. In den Apparaten, welche in den Laboratorien zur Kondensierung der flüssigen Kohlensäure verwendet werden, dient eine sehr dickwandige schmiedeeiserne Flasche zu ihrer Aufnahme; aber trotz dieser massiven Beschaffenheit der Flasche kommt es doch vor, daß dieselbe explodiert. Wir können daraus wichtige Schlüsse auf die Verhältnisse ableiten, unter welchen die Gesteine mit solchen Einschlüssen sich gebildet haben, und müssen einen sehr hohen Druck voraussetzen.



Flüssigkeitseinschlüsse mit Libellen; einer derselben mit einem Kochsalzkristalle, stark vergrößert (nach Zirkel).

Einteilung der Massengesteine.

Für die Einteilung der Gesteine ist in erster Linie die Zusammensetzung aus einzelnen Mineralien und die damit in innigster Beziehung stehende chemische Beschaffenheit ausschlaggebend. Voran stehen die kieselsäurereichsten Gesteine, welche freie Kieselsäure als Quarz und von Feldspaten Orthoklas enthalten; einer zweiten Gruppe mangelt der Quarz, sie hat aber noch Orthoklas. Dann folgen die Felsarten, welche nur die basischern Plagioklase enthalten und danach in weitere Kategorien zerfallen je nach der Anwesenheit von Quarz, Hornblende, Augit, Glimmer, Diallag, Olivin, Enstatit, Nephelin, Leucit; endlich die feldspatfreien Gruppen, in denen Nephelin, Leucit oder Olivin eine Hauptrolle spielen. Nach diesen Charakteren wird eine große Anzahl von Kategorien unterschieden, die nach der Struktur und dem geologischen Alter in weitere Unterabteilungen gebracht werden.

Der Struktur nach unterscheidet man körnige, porphyrische und glasige Gesteine. Unter Porphyren verstand man ursprünglich solche Gesteine, welche in einer homogenen Grundmasse deutlich ausgeschiedene Kristalle enthalten. Diese Auffassung wurde aber unhaltbar, nachdem für sehr viele dieser Gesteine durch die mikroskopische Untersuchung nachgewiesen war, daß die scheinbar gleichmäßige Grundmasse ebenfalls aus lauter einzelnen Mineralindividuen bestehe, da eine Trennung zwischen solchen Felsarten, in welchen größere Kristalle zwischen den dem freien Auge sichtbaren Mineralkörnern liegen, und solchen, in

welchen diese Sonderung erst bei stärkerer Vergrößerung hervortritt, keinen Wert hat. Diesen Schwierigkeiten gegenüber hat Rosenbusch in scharfsinniger Weise eine neue Definition der porphyrischen Struktur gegeben und ihre Unterschiede gegen die körnige Anordnung präzisiert: wenn man ein echt körniges Gestein sorgfältig unter dem Mikroskope betrachtet, so erkennt man an der Art der Lagerung und der vollkommenern oder unvollkommenern Kristallausbildung, daß die einzelnen Mineralien sich in einer bestimmten Reihenfolge ausgebildet haben; so hat sich z. B. in den Graniten zuerst der Glimmer, dann der Feldspat, zuletzt der Quarz ausgeschieden. Dagegen sind in den Porphyren die großen Kristallindividuen zuerst gebildet; unter den dem freien Auge sichtbaren oder nur unter dem Mikroskope erkennbaren kleinern Mineralkörnern kehren dieselben Mineralarten, die unter den größern Individuen gefunden werden, wieder. Wir sehen, daß dieselben Typen sich in zwei verschiedenen Phasen der Gesteinsbildung zweimal ausgeschieden haben; die einzelnen Mineralien treten gleichsam in zwei Generationen, in einer ältern Generation der großen Kristalle und in einer jüngern der feinern Körner, auf. In diesem Gegensatze ist der Unterschied zwischen körniger und porphyrischer Struktur gegeben. Sie beide spielen neben der glasigen in der Unterscheidung der Gesteine eine gewichtige Rolle.

Ein drittes Moment, welches in der Regel für die Einteilung der Gesteine herbeigezogen wird, ist das geologische Alter, und zwar stellt man die Massengesteine der jüngsten unter den großen Hauptperioden der Erdgeschichte, der Tertiärzeit, denjenigen der ältern Formationen gegenüber. Mit diesem gebräuchlichen Einteilungsprinzipe zu brechen, mag im Augenblicke nicht durchführbar sein; aber es mag doch darauf hingewiesen werden, wie das schon von manchen Seiten geschehen ist, daß dieses Verfahren ein unrichtiges ist. Allerdings unterscheidet sich die große Mehrzahl der geologisch jungen Vorkommnisse auch in Struktur und mineralogischer Ausbildung von den ältern, und in den meisten Typen stellen die ältern und jüngern Glieder zwei kontrastierende Gruppen dar, zwischen welchen wenigstens bisweilen Übergänge sehr spärlich sind. Der Grund hierfür liegt hauptsächlich darin, daß in den am meisten untersuchten Gegenden die ältesten und die jüngsten (paläozoischen und tertiären) Ablagerungen reich an Massengesteinen sind, während die Ablagerungen des dazwischenliegenden Zeitraumes deren eine geringere Menge geliefert haben und diese letztern auch bei weitem weniger untersucht worden sind.

Übrigens gibt es doch auch in den alten Ablagerungen gewisse Massengesteine, welche man von den tertiären Verwandten weder in der chemischen oder mineralogischen Zusammensetzung, noch unter dem Mikroskope unterscheiden kann, die man aber trotzdem mit andern Namen belegt und in andre Abteilungen des Systemes bringt. So stimmen z. B. gewisse sogenannte Melaphyre der paläozoischen Zeit mit jungen Basalten durchaus überein, werden aber doch von diesen getrennt. Es ist dies ein durchaus ungerechtfertigter Vorgang, und mit dem zunehmenden Umfange der Petrographie kann die Einführung des ganz heterogenen geologischen Prinzipes in ihre Systematik nur die größte Verwirrung herbeiführen.

Wohl muß der Geolog dem Alter der Gesteine Rechnung tragen, aber diese Berücksichtigung ist eine von der Beschreibung und Einteilung der Gesteine durchaus unabhängige Sache. Wie schon oft betont worden ist, ist unter den Sedimentärgesteinen das richtige Prinzip schon durchgeführt, daß man von Kalken, von Dolomiten, Sandsteinen ꝛc. des Silur, des Jura, des Tertiär spricht, ohne die verschiedenalterigen Gesteine von gleicher Beschaffenheit mit eignen Namen zu belegen; genau in derselben Weise wird man auch mit den Massengesteinen verfahren müssen. Auf einen solchen Standpunkt wird und muß die Gesteinslehre ebenfalls gelangen; sie wird ihre Unterscheidung der Felsarten nur nach petrographischen Merkmalen und petrographischer Methode vornehmen und die Altersbestimmung der Geologie überlassen, was natürlich nicht ausschließt, daß beide Forschungsgebiete von

einer und derselben Person beherrscht werden. Es ist vielleicht heute noch praktisch unmöglich, mit dem erwähnten Mißbrauche radikal zu brechen, und zwar namentlich wegen der Bedürfnisse der geologischen Kartenaufnahmen. Diese haben erfreulicherweise in neuerer Zeit intensiv wie extensiv einen riesigen Aufschwung genommen; dabei aber läßt sich nicht verkennen, daß das Überwiegen der Kartenarbeiten auf andern Zweigen der Geologie lastet, daß ihre praktischen Bedürfnisse manche theoretisch berechtigte Strebung in den Hintergrund drängen.

Die wichtigsten Gesteinstypen.

Wir eröffnen die Betrachtung der einzelnen Felsarten mit dem Granite als dem Typus der körnigen, Orthoklas und Quarz führenden Gesteine der ältern Formationen. Quarz und Orthoklas, Glimmer, oft in beiderlei Abänderungen, sind die wesentlichen Gemengteile, zu denen sich oft noch ein Plagioklas oder statt des Glimmers Hornblende gesellt. Der Charakter und das Aussehen dieses Gesteines sind so allgemein bekannt, daß wir über seinen allgemeinen Habitus kaum etwas zu bemerken brauchen.

Der Quarzporphyr im weitesten Sinne stellt die porphyrische Ausbildung desselben Typus dar; derselbe hat bald deutlich körnige Grundmasse mit großen eingesprengten Kristallen (Granitporphyr), bald kann man in der Grundmasse mit freiem Auge keine Körner unterscheiden. Dies sind Abänderungen, welche man sich als typischen Quarzporphyr, meist von roter Farbe, zu bezeichnen gewöhnt hat; unter dem Mikroskope dagegen zerfällt die Grundmasse bei manchen in deutliche Körner, bald ist sie felsitisch, oder es stellt sich Glasmasse ein, die endlich vollständig dominieren kann. Verschwinden auch die eingesprengten Kristalle, oder treten sie stark zurück, so liegen Felsitpechsteine vor, welche die glasige Ausbildung der alten Quarz-Orthoklasgesteine darstellen.

In den jüngern Ablagerungen ist dieser Typus durch die Rhyolite oder Liparite (Quarztrachyte) vertreten, die sich von den ältern Gesteinen in mineralogischer Hinsicht dadurch unterscheiden, daß statt des gewöhnlichen Orthoklas die glasglänzende, rissige Abänderung desselben, der Sanidin, auftritt. Als Gläser gehören hierher: Obsidiane, Bimssteine, Perlite und ähnliche Gebilde; doch werden bis jetzt nicht nur die Gläser der Liparite, sondern auch diejenigen der ferner zu besprechenden Trachyte und Andesite zusammengefaßt.

Es wurde dieser eine Typus etwas ausführlicher besprochen, für die übrigen begnügen wir uns mit einer kurzen Aufzählung:

Syenit, wesentlich Orthoklas und Hornblende, in der Regel auch im Plagioklas körnig ausgebildet, geologisch alt.
Syenitporphyr, Syenit in porphyrischer Ausbildung
Trachyt, geologisch junge Gesteine, aus Sanidin und Hornblende bestehend; gesellt sich dazu noch Nephelin oder Leucit, so liegt der Phonolith oder Klingstein vor.

Von ältern Gesteinen sind noch als besonders häufig und wichtig zu nennen:

Diorit, ein körniges Gemenge, wesentlich aus Plagioklas und Hornblende bestehend.
Diabas, körniges Gemenge aus Plagioklas und Augit.
Gabbro, körniges Gemenge aus Plagioklas und Diallag.

Unter den porphyrischen Gesteinen entspricht dem Diorite der Porphyrit, dem Diabas der Augitporphyrit sowie der Olivin führende Melaphyr.

Unter den jungen Gesteinen sei zunächst der Andesit genannt, der aus Plagioklas und Augit oder Hornblende besteht und danach in Augit-Andesit und Hornblende-Andesit unterschieden wird. Als Basalte fassen wir alle stark basischen, in typischer Ausbildung dichten,

schwarzen Massengesteine der Tertiärzeit zusammen, von welchen bisweilen die deutlich körnigen Typen als Dolerit gesondert werden[1].

Zum Schlusse sei noch der Serpentin erwähnt, ein der Hauptsache nach aus Kieselsäure, Magnesia und Wasser bestehendes einfaches Gestein, meist von grüner Farbe, das sehr leicht durch seine geringe Härte zu erkennen ist. Dasselbe ist so weich, daß es mit dem Messer nicht nur geritzt, sondern sogar geschabt werden kann. Serpentine treten schon in sehr alten Ablagerungen auf, kommen aber auch mit weit jüngern Schichten, selbst noch mit solchen des untern Tertiär, vergesellschaftet vor. Übrigens ist der Serpentin kein ursprüngliches Gestein, sondern er wird allgemein als ein Umwandlungs- und Zersetzungsprodukt andrer Felsarten, wohl am häufigsten von Olivingestein, betrachtet.

Die Entstehung der Massengesteine.

Die Kenntnis der Massengesteine, ihrer Zusammensetzung und Struktur bietet ein unerläßliches Hilfsmittel für das Studium der Geologie. Das eigenste Gebiet dieser Wissenschaft betreten wir wieder, wenn wir uns der Frage nach der Entstehung dieser Felsarten zuwenden, einem Probleme von großer Bedeutung, das seit den Tagen Werners die Geologen fortwährend im höchsten Grade beschäftigt hat, ja zeitweilig alles Interesse zu absorbieren schien. Der Kampf zwischen Neptunisten und Plutonisten war Dezennien hindurch der Mittelpunkt, um den sich alles drehte, und wenn auch heute über die fundamentalsten Grundsätze ziemliche Einigung erzielt ist, so liegt doch noch eine Menge ungelöster Rätsel im einzelnen vor.

Werner war ausgesprochener Neptunist; für ihn waren alle Gesteine Absätze aus dem Wasser, nur die Laven bildeten lokale Ausnahmen ohne größere Bedeutung. Im Gegensatze zu ihm und zu seiner zahlreichen Schule betrachteten die Vulkanisten und Plutonisten unter Hutton alle Massengesteine als Erstarrungsprodukte aus feurigem Schmelzflusse; ja, manche Vertreter dieser Richtung gingen so weit, auch Steinsalz, Gips, Marmor, kristallinische Schiefer auf diesem Wege entstehen zu lassen, überhaupt der innern Erdwärme eine ganz übertriebene Rolle zuzuschreiben. Auch gegen diese zu weit gehende Auffassung machte sich eine Reaktion geltend, die ihren schärfsten Ausdruck in der vom ausgezeichneten G. Bischoff in Bonn gegründeten „chemisch-geologischen Schule“ fand; hier wurde dem chemischen und physikalischen Experimente ein sehr weiter Spielraum gegeben und auf dieser durchaus rationellen Basis die Entstehung der Massengesteine beurteilt. Wir verdanken diesen Bemühungen einen gewaltigen Fortschritt, wenn auch die Übertreibung nicht fehlte und einzelne, auf den Standpunkt Werners zurückgehend, wieder alle Basalte und Trachyte der Tertiärzeit als Produkte wässeriger Bildung erklärten.

In neuerer Zeit hat man versucht, die Beobachtungen in der Natur und im Laboratorium zu verbinden, jeder von beiden Richtungen die ihr gebührende Berücksichtigung zu schenken und ihre Ergebnisse in Einklang zu bringen; dazu kam als neuer wichtiger Faktor die mikroskopische Untersuchung, die über eine Menge von Punkten neues Licht verbreitete. Den einzig richtigen Ausgangspunkt für die Beurteilung der Bildung der Massengesteine bieten auch hier wieder die Vorgänge in der Jetztzeit. Um die Sedimentärgesteine zu verstehen, mußten wir die Absätze studieren, die sich jetzt im Meere, in Seen bilden; den

[1] Daß eine solche Zusammenfassung vom petrographischen Standpunkte ein Unding ist, und daß unter dem Namen Basalt im ältern Sinne die mannigfaltigsten basischen Gesteine zusammengeworfen werden, ist nach den Arbeiten von Zirkel zweifellos. Der Geolog dagegen kann für den Augenblick eines Gesamtnamens für die jüngern basischen Eruptivgesteine nicht entbehren.

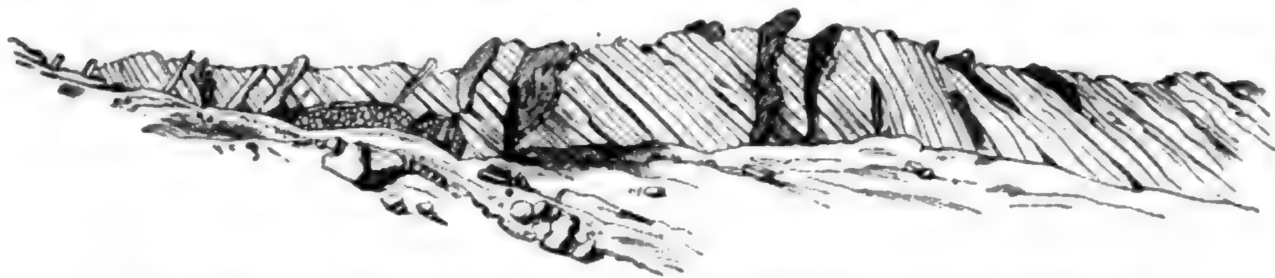
Schlüssel für das Studium der Massengesteine liefern uns die thätigen Vulkane, deren unter unsern Augen erstarrende Laven mit den Basalten und Trachyten in engster Beziehung stehen, ja geradezu als solche bezeichnet werden können. Das Mikroskop weist in beiden dieselben Mineralien nach, und wenn auch die Laven in ihrer häufigsten Erscheinungsweise durchschnittlich stärker glasig entwickelt sind und sich durch ihr schlackiges Aussehen unterscheiden, so gilt das doch nur von sehr wenig mächtigen Strömen oder von der Oberfläche bedeutenderer Ergüsse, während in der Tiefe großer Lavaströme eine vorwiegend körnige Ausbildung herrscht, wie wir sie bei den tertiären Vorkommnissen zu finden pflegen. Es ist also nur das rasche Erstarren unmittelbar an der Oberfläche, welchem dieser scheinbare Unterschied zugeschrieben werden muß.

Auf dieselben Ursachen sind auch einige andre Differenzen zwischen den tertiären Basalten und den jetzigen Basaltlaven zurückzuführen. Man gibt an, daß Silikate, wenn man sie schmelzt und dann erstarren läßt, ein niedrigeres spezifisches Gewicht haben als vor der Schmelzung; für die ältern Basalte und Trachyte trifft das zu, nicht aber für die ihnen entsprechenden jungen Laven, und man hat daraus den Schluß abzuleiten gesucht, daß die letztern offenbar Produkte aus einem Schmelzflusse seien, nicht aber die erstern. Allein diese Folgerung erweist sich nicht als richtig; das niedrigere spezifische Gewicht ist nicht ein charakteristisches Merkmal der aus dem Schmelzflusse erstarrten, sondern der glasigen Silikate; es ist also natürlich, daß die vorwiegend glasigen Laven von der Oberfläche der Ströme, wie man sie meist in den Sammlungen findet und zum Experimente verwendet, keine Änderung zeigen, während das bei den Basalten wie bei körnig erstarrten Laven der Fall ist.

Ein zweiter, ähnlicher Punkt ist das Vorkommen von Wasser und Kohlensäure in den Basalten. Den Laven fehlen sie, und wenn man einen frischen Basalt zu Glas schmelzt, so gehen diese Bestandteile verloren; wenn man jedoch einen glühenden, frischen Lavastrom betrachtet, der sich von den Flanken eines Vulkanes herabwälzt, so findet man, daß demselben ungeheure Massen von Gasen, namentlich Wasserdampf und Kohlensäure, entströmen. Selbst wenn die Oberfläche schon längst erstarrt ist, dauern diese Exhalationen noch geraume Zeit fort. Dies rührt daher, daß die geschmolzenen Massen große Mengen von Gasen absorbiert enthalten, die bei der Verfestigung frei werden, wenn kein hoher Druck auf ihnen lastet. Wenn dagegen eine solche geschmolzene Masse nicht an der Oberfläche, sondern in bedeutender Tiefe unter hohem Drucke erstarrt, dann werden die Gase ganz oder teilweise zurückbleiben; auf diesem Verhältnisse beruht der ganze Unterschied zwischen Basalten und Laven.

Wir sehen also, daß die genannten tertiären Massengesteine dieselben Mineralien ausgeschieden enthalten wie die Laven, wir sehen in den erstern Glasmasse, den unzweideutigen Zeugen von Entstehung aus dem Schmelzflusse, so gut, wenn auch in geringerer Menge, wie in den letztern; die Abweichungen lassen sich durch die verschiedenen Verhältnisse bei der Erstarrung erklären. Fassen wir diese Resultate zusammen, so führen sie uns zu dem Schlusse, daß nach allen mineralogischen Charakteren auch Basalte und Trachyte und die ihnen verwandten Gesteine wirklich eruptiver Natur und aus geschmolzenem Zustande fest geworden sind. Bedarf diese Folgerung noch einer weitern Bestätigung, so erhalten wir diese durch die interessanten und schönen Experimente von Fouqué und Michel-Lévy. Schon seit längerer Zeit war bekannt, daß eine Reihe von Mineralien, die in den Massengesteinen auftreten, bei den Hüttenprozessen, in den Schlacken &c. sich bilden. Die beiden französischen Forscher haben es sich nun zur Aufgabe gestellt, durch künstliches Zusammenschmelzen der geeigneten Substanzen und langsames Abkühlen derselben die einzelnen Mineralien und Gesteine darzustellen. So gelang es ihnen, verschiedene

Plagioklase, Augit, Magneteisen, Olivin, Leucit ꝛc., in mikroskopisch deutlich erkennbaren und so vollständig wie möglich ausgebildeten Kristallen zu erhalten. Vor allem bemerkenswert sind die vollständig gelungenen Versuche, auch gemengte Gesteine zu erhalten; so wurde z. B. ein Gemenge von 2 Teilen Olivin, 2 Teilen Labrador (ein Plagioklas) und 1 Teil Augit zunächst zusammengeschmolzen und erstarrte bei raschem Erkalten zu einem ganz amorphen Glase. Diese Masse wurde 48 Stunden hindurch in Weißglühhitze erhalten, und infolge dieses Prozesses begann die Mineralbildung, indem sich zahlreiche deutlich kristallisierte Olivine und Oktaeder von Magneteisen, einem Minerale, von dem behauptet worden war, daß es nur auf nassem Wege entstehen könne, bildeten; neben diesen war als Grundmasse ein braunes Glas zurückgeblieben. Darauf wurde dieselbe Masse noch weitere 48 Stunden in heller Rotglühhitze erhalten, nach welcher Zeit fast alles Glas verschwunden war und sich noch weiteres Magneteisen, ferner Labrador und Kristallnädelchen von Augit, endlich Oktaeder eines eigentümlichen Minerales, des Pisolith, gebildet hatten, welcher auch in der Natur als accessorischer Bestandteil olivinführender Basalte häufig vorkommt; kurzum, es war Basalt, der auf diesem Wege entstanden war.



Lavagänge im Tuffe am Ätna, durch Auswitterung über die Oberfläche hervortretend (nach Sartorius von Waltershausen). Vgl. Text, S. 604.

Andre Beweise für die Entstehung der Basalte auf eruptivem Wege und seine ehemalige glühende Temperatur liefern uns die Veränderungen, welche er in den Nachbargesteinen zwar nicht immer, aber doch sehr oft hervorbringt: Sandsteine zeigen sich gefrittet oder verglast und bisweilen zu Säulen abgesondert, ganz wie wir es an den Sandsteinquadern wahrnehmen, die, in einen Hochofen eingemauert, Monate hindurch der Glut des schmelzenden Eisens ausgesetzt waren; Thone, Schieferthone, Mergel ꝛc. sind zu porzellanartiger Masse, sogenanntem Porzellanjaspis, umgewandelt; graue oder bläuliche Kalke sind rot gebrannt; Braunkohlen und Steinkohlen haben ihren Gehalt an flüchtigen Substanzen, an Bitumen eingebüßt und haben eine anthracit- oder koksähnliche Beschaffenheit erlangt. Solche „Kontaktwirkungen“, welche aufs deutlichste für eruptive Bildung sprechen, sind bei Basalten häufiger als bei andern Massengesteinen, auch bei Trachyten, Melaphyren ꝛc. sind sie zu sehen; auf der Insel Euböa, in der Nähe der Kohlengruben von Kumi, konnte ich im Jahre 1876 sehr deutlich wahrnehmen, wie die weißgrauen Hippuritenkalke der obern Kreide an der Grenze gegen den Serpentin auf einer schmalen Strecke grell rote Farben angenommen hatten.

Auch die Lagerung in der Natur und das Massengefüge von Basalten und Trachyten stimmen nur mit der Annahme eruptiver Bildung überein; dieselben zeigen nicht die Schichtung sedimentärer Gesteine, sondern treten in Gängen, Kuppen und in Decken auf, welche Teilen ehemaliger Eruptivströme entsprechen. Oft auch sieht man ebenso wie bei Laven, daß in einem Massiv von Schichten ein Gang von Basalt oder Trachyt, die Bänke schneidend, aufsteigt und sich dann zwischen zweien dieser letztern ausbreitet. Allerdings bietet irgend ein einzelnes derartiges Vorkommen keinen Beweis für eruptive Bildung, wohl aber liegt ein solcher in der Gesamtheit dieser Erscheinungen, in dem steten Gegensatze

zu der Art des Auftretens, welcher für Absätze aus dem Wasser charakteristisch ist. Man hat zwar behaupten wollen, daß gerade die bei Basalten und Trachyten so häufige Bildung von schmalen Gängen, die ein andres Gestein durchsetzen, unverträglich mit der Annahme einer ursprünglichen geschmolzenen Beschaffenheit sei, da bei dem angenommenen Eindringen der feuerflüssigen Masse in diese dünnen, von kaltem Gesteine umgebenen Kanäle rasch eine Erstarrung und Verstopfung eintreten müßte, ehe die letzten Verzweigungen ausgefüllt würden. So überzeugend aber eine solche Folgerung auch klingen mag, so genügt doch ein Blick



Säulenbasalt auf der Insel St. Helena.

auf die thätigen Vulkane, um deren Unhaltbarkeit darzuthun; die Tuffe derselben sind z. B. am Vesuv (Atrio del Cavallo) und am Ätna mit einer ungeheuern Menge von Lavagängen durchzogen (s. Abbildung, S. 603), deren eruptive Bildung kein Mensch bezweifeln wird, und die uns die Möglichkeit eines solchen Vorganges in der klarsten Weise darlegen.

Außerordentlich charakteristisch ist die säulenförmige Absonderung (s. obenstehende Abbildung), welche bei so vielen Basalten genau in derselben Weise hervortritt, wie wir sie oben bei den Laven kennen gelernt haben. Die Säulenabsonderung ist übrigens durchaus nicht auf die Basalte beschränkt, sie tritt auch bei andern Massengesteinen, z. B. bei Trachyt, Porphyr 2c., wenn auch seltener, auf (s. Abbildung, S. 605).

Endlich mögen noch als ein Beweis für die eruptive Entstehung die Einschlüsse von fremden Gesteinen angeführt werden, welche in den Graniten und Porphyren so gut wie

in den Basalten vorkommen; sie sind aller Wahrscheinlichkeit nach von der geschmolzenen Masse unterwegs losgerissen und eingehüllt worden. Besonders deutlich ist diese Art der Bildung in jenen Fällen, in welchen nirgends an der Oberfläche das eingeschlossene Gestein vorkommt, während es sehr wahrscheinlich in der Tiefe ansteht. So hat Reuß in dem Basalte des böhmischen Mittelgebirges Bruchstücke von Granit gefunden, obwohl diese Felsart sonst nirgends im ganzen Gebiete zu sehen ist. Der Basalt des Ascherhübels bei Spechtshausen in Sachsen umschließt nach B. von Cotta Fragmente des in der Tiefe ruhenden Porphyres, und ähnliche Fälle lassen sich in großer Zahl anführen.

Dieser Fülle von Beweismaterial gegenüber ist kein Zweifel mehr an der „pyrogenen Natur" der hier zunächst besprochenen Trachyte und Basalte, an ihrer Entstehung durch Erstarrung aus geschmolzenem Zustande bei Anwesenheit von absorbierten Mengen von



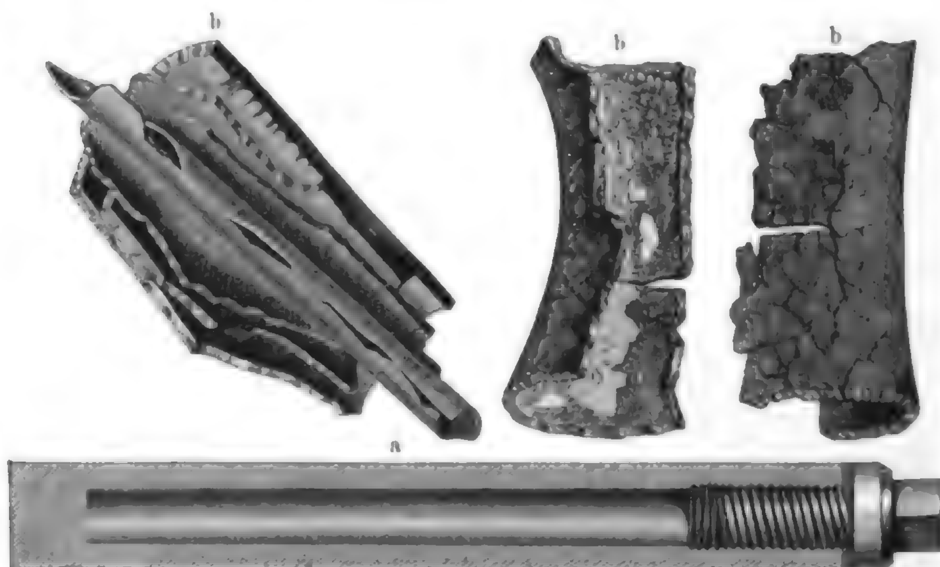
Säulenförmig abgesonderter Quarztrachyt in den Rocky Mountains, Nordamerika (nach Clarence King). Vgl. Text, S. 604.

Kohlensäure und Wasserdampf. Die Fortschritte der letzten zwei Dezennien haben ziemlich jeden Widerspruch gegen diese Auffassung verstummen gemacht. Der Umstand, daß gerade diese Frage in unsrer Wissenschaft eine so ungeheure Rolle gespielt und eine Aufregung und eine umfangreiche Litteratur hervorgebracht hat wie kein andres Problem, nicht einmal die Darwinsche Theorie, dieser Umstand wird es begreiflich erscheinen lassen, daß dieser Gegenstand hier etwas eingehender besprochen wurde.

Die Basaltfrage bildet den Angelpunkt für die Deutung der großen Mehrzahl der Massengesteine. Es kann allerdings nicht bezweifelt werden, daß dieselben Mineralassociationen dieser, z. B. diejenige des Granites, des Serpentines, auch auf anderm Wege zu stande kommen können, und daß auch wirklich gewisse beschränkte Vorkommnisse solcher wahrscheinlich einer wässerigen Ausscheidung auf Spalten oder der Umänderung eines

Sedimentärgesteines ihre Entstehung verdanken; für die große Hauptmasse aber ist eine eruptive Bildung oder wenigstens eine dieser analoge, nur in den begleitenden Umständen verschiedene Genesis sicher. Die Lagerungsverhältnisse stimmen durchaus überein. Glasmasse kommt in einer Menge alter Porphyrgesteine vor, die Einschlüsse fremder Felsarten, der gesamte Aufbau zeigen so auffallende Harmonie, daß kein Zweifel herrschen kann.

Allerdings sind dabei noch einige Punkte dunkel, besonders das Vorkommen von Quarz, da dieses Mineral in Laven bisher nur sehr selten gefunden wurde und auch künstlich durch Schmelzung noch nicht erzeugt werden konnte. In dieser Schwierigkeit führen uns aber die berühmten Experimente von Daubrée zu einer richtigen Deutung. Daubrée erhitzte in sehr starken schmiedeeisernen Rohren, die durch Schrauben oder durch einen eingeschweißten Eisenpfropfen vollständig verschlossen waren (s. untenstehende Abbildung), Wasser weit über seinen gewöhnlichen Siedepunkt, bis zu etwa 400°, so daß es sich unter enormer Dampfspannung, bei einem Drucke von ungefähr 1000 Atmosphären, befand. Zu dem Wasser wurden in die Eisenrohre Glasstücke gelegt, und es zeigte sich, daß diese dabei sehr stark angegriffen und verändert wurden. Es würde zu weit führen, diese Vorgänge eingehend zu schildern; das Hauptresultat bestand darin, daß sich vollständig deutliche Quarzkristalle bildeten, welche, wenn die Erhitzung etwa einen Monat gedauert hatte, eine Größe von 2 mm erreichten. Bedenkt man dabei, daß gerade der Quarz es ist, welcher unter allen Mineralien in den Massengesteinen die größte Menge von Flüssigkeitseinschlüssen zeigt, so wird man zu der Annahme geführt, daß wir hier die Ausscheidung des Quarzes der Anwesenheit von überhitztem Wasser bei der Erstarrung zuschreiben müssen. Da nun die quarzreichsten Gesteine auch großenteils sehr gut körnig entwickelt sind, so müssen nicht nur diese eine Abweichung, sondern überhaupt die Unterschiede zwischen den ungleichalterigen und in der Ausbildung differierenden, aber in ihrer Zusammensetzung übereinstimmenden Massengesteinen lediglich dadurch bedingt sein, daß die ältern unter ihnen in größerer Tiefe und unter höherm Drucke, bei langsamerer Erkaltung und größerm Gehalte an absorbiertem Wasserdampfe sich ausgebildet haben. Die Erstarrungsprodukte der Oberfläche aus jenen frühen Zeiten sind durch Erosion zerstört, während die Produkte der Tiefe aus späterer Periode nicht sichtbar sind; Granite, Syenite und ihre Verwandten müssen sich noch heute in der Tiefe bilden.



a Durchschnitt einer eisernen Röhre, wie sie von Daubrée bei seinen Experimenten benutzt wurde (verkleinert). — bbb Durch Behandlung mit überhitztem Wasser angegriffene Glasstücke (nach Daubrée).

Es wird kaum bezweifelt werden können, daß die wesentlichsten Unterschiede zwischen den alten und jungen Eruptivmassen auf diese Weise zu erklären seien, wie dies wohl zuerst von Cotta ausgesprochen wurde. Wenn wir dies festhalten, so ist damit aber noch nicht gesagt, daß alle Differenzen auf jene Art entstanden sind. Allerdings sprechen dafür Vorkommnisse wie die sehr granitähnlichen Trachyte, die Hochstetter in Neuseeland gefunden

hat, und wie die Gesteine des Monzoniberges im Fleimser Thale in Südtirol, welche dem mittlern Zeitalter der Erde (Trias) angehören und Graniten und Syeniten sehr nahe stehen, aber doch vereinzelte Glaseinschlüsse zeigen, während sich ihre Feldspate auch sonst denjenigen jüngerer Gesteine etwas nähern. Daneben treten aber doch auch einige Bedenken auf, unter denen namentlich eins von Zirkel hervorgehoben worden ist: wenn wir auch annehmen dürfen, daß die oberflächlichsten Teile der paläozoischen Vulkane durch Erosion zerstört worden sind, so müßte man doch erwarten, Überbleibsel derselben in den Trümmergesteinen, den Konglomeraten, jener Periode zu finden; aber noch nie hat man z. B. ein Trachytstück in einem paläozoischen Konglomerate gefunden. Reicht diese Thatsache hin, um auf sie den Schluß zu gründen, daß Trachyte damals nicht existierten, daß die Erstarrung der Oberflächenmassen damals unter andern Bedingungen vor sich gegangen sei als heute? Wir können diese Frage noch nicht beantworten, wenn auch unsre ganze Auffassung geologischer Vorgänge sich gegen eine Bejahung sträuben mag.

Aber ein noch schwierigeres und wichtigeres Problem drängt sich uns auf, ehe wir die Betrachtung der Massengesteine verlassen. Wir haben gesehen, daß Granite sich den gewöhnlichen Gliedern der hier besprochenen Gesteinsgruppe eng anschließen; unter den alleräItesten Gesteinen der Erdoberfläche treten aber oft riesige Granitmassen auf, die häufig mit den allerältesten Gneißen in Verbindung stehen, Übergänge zu diesen haben und mit denselben wechsellagern. Bei diesem innigen Zusammenhange mit den wohlgeschichteten Gneißen wird eine eruptive Bildung zweifelhaft. Daß die Ansicht, welche in diesen ältesten Gneißen und Graniten die erste Erstarrungskruste des ursprünglich geschmolzenen Erdballes sieht, unhaltbar ist, soll bei Besprechung der kristallinischen Schiefer gezeigt werden; hier mag der Hinweis genügen, daß wir hier vor einem der schwierigsten Probleme stehen, an dessen Lösung die Geologen noch lange ihren Scharfsinn üben können.

---

9. Kristallinische Schiefer.

Inhalt: Die kristallinischen Schiefer und ihre Lagerung. — Organisches Leben in archäischer Zeit. — Jüngere kristallinische Schiefer. — Entstehung der kristallinischen Schiefer.

Die kristallinischen Schiefer und ihre Lagerung.

Wir haben zwei Haupttypen von Felsarten kennen gelernt, über deren Entstehung bei allen Schwierigkeiten im einzelnen doch der Hauptsache nach Rechenschaft gegeben werden konnte. Bei der Betrachtung der sedimentären Gesteine waren die Beobachtungen der jetzt sich bildenden Niederschläge von festen Teilen aus dem Wasser, bei der Untersuchung der massigen Gesteine war die Analogie mit den Produkten der heute thätigen Vulkane maßgebend. Neben diesen gibt es noch eine dritte große Abteilung der Felsarten, die kristallinischen Schiefer, welche verschiedene Eigentümlichkeiten der Massen- und Schichtgesteine in der merkwürdigsten Weise in sich vereinigen, mit beiden durch Übergänge in Verbindung stehen, aber mit keiner der heute unter unsern Augen vor sich gehenden Bildungen übereinstimmen. Zum größten Teile deutlich geschiefert und geschichtet, wie mechanische Absätze aus dem Wasser, aber zusammengesetzt aus kristallinischen Silikatbestandteilen, ist ihre Entstehung wegen dieser eigentümlichen Kombination der Charaktere fast unerklärlich; wie an eine Sphinx treten wir an diese rätselvollen Massen von Gneißen, Glimmerschiefern, Phylliten 2c. heran, die, in ungeheurer Mächtigkeit auftretend, weite Räume der

Erdoberfläche einnehmen und die Unterlage der meisten Sedimente bilden. Solange eine wissenschaftliche Geologie existiert, hat sie sich mit der Deutung dieser Gebilde beschäftigt, über keinen Gegenstand sind vielleicht mehr verschiedene Hypothesen aufgestellt worden, und auch heute noch sind die Ansichten voneinander total verschieden. Trotzdem dürfen wir hoffen, daß wir einer Entscheidung nicht mehr allzu fern stehen, da das Studium des Gegenstandes seit einigen Jahren wieder energischer, mit neuen Methoden und unter Zuhilfenahme des Mikroskopes in Angriff genommen worden ist.

Die kristallinischen Schiefer sind, wie die Massengesteine, ihrer chemischen Zusammensetzung nach Silikate, ihr wichtigster Bestandteil ist Kieselsäure, deren Menge 40—80 Prozent des gesamten Gewichtes ausmacht. Neben ihr sind noch Thonerde, Eisenoxyd und Eisenoxydul, Kalk, Magnesia, Kali, Natron und etwas Wasser vorhanden[1], und diese Elemente gruppieren sich in den einzelnen Gesteinen zu verschiedenen Mineralien, unter denen Quarz, Feldspate, Glimmer, Hornblende, Chlorit, Talk die wichtigsten sind.

Wir müssen notwendig einige dieser Schiefer kennen lernen, ehe wir uns auf die nähere Besprechung der Verhältnisse ihres Vorkommens und auf die Hypothesen über ihren Ursprung einlassen können. In erster Linie ist der Gneiß zu nennen, ein Gestein, das wesentlich aus Kalifeldspat oder Orthoklas, aus Quarz und aus Glimmer besteht. Dieselbe Zusammensetzung ist unter den körnig-massigen Felsarten dem Granite eigen; ein Unterschied zwischen beiden beruht nur darin, daß die einzelnen Mineralien im Granite regellos gelagert, im Gneiße dagegen mehr oder weniger vollständig parallel angeordnet sind, und daß dieser letztere dadurch eine bald sehr deutliche, bald mehr verschwimmende Schieferung erhält. Diese geschieferten Massen sind außerdem noch zu Bänken oder Schichten angeordnet; da jedoch Schieferung sowohl als Schichtung zurücktreten können, so wird dadurch ein Übergang zum Granite hergestellt. Eine dem Gneiße nahestehende Felsart, die eine geringere Rolle spielt als jener, ist der Granulit; derselbe enthält keinen Glimmer, besteht also nur aus Feldspat und Quarz und schließt häufig noch Granat ein. Im Glimmerschiefer, der wieder ein in größter Verbreitung und in riesigen Massen auftretendes Gestein darstellt, sehen wir ein schieferiges Gemenge von Quarz und Glimmer, eine Mineralkombination, für welche wir unter den Massengesteinen kein entsprechendes Glied von gleicher Zusammensetzung finden. Vom Glimmerschiefer führen Übergänge, die man als Thonglimmerschiefer, kristallinische Thonschiefer, Urthonschiefer oder Phyllite bezeichnet, und die in großer

[1] Nachfolgend ist die chemische Zusammensetzung einiger kristallinischer Schiefer mitgeteilt:

Bestandteile	Roter Gneiß aus Sachsen	Grauer Gneiß aus Sachsen	Gneiß von Trosa in Schweden	Granulit von Roßwein in Sachsen	Glimmerschiefer von Zermatt	Glimmerschiefer aus Sachsen	Grünschiefer aus Sachsen	Phyllit aus Schlesien	Biol. Sericitschiefer von Wiesbaden	Gefleckter Sericit von Wiesbaden	Hornblendeschiefer aus Böhmen	Hornblendeschiefer aus Finnland	Chloritschiefer aus dem Pfitschthale	Talkschiefer von Gastein
Kieselsäure.	75,91	66,42	56,90	69,94	79,50	66,21	54,42	61,72	55,84	70,90	48,65	50,15	42,06	50,[illegible]
Thonerde .	14,11	14,76	20,73	10,05	13,36	18,60	15,39	19,55	15,62	13,77	16,42	13,30	3,51	4,53
Eisenoxyd .	—	—	6,27	—	2,87	—	5,61	—	4,86	0,38	18,62	27,84	—	} 7,38
Eisenoxydul	2,03	7,50	5,65	4,66	—	5,34	7,14	8,55	8,25	3,91	5,17	—	27,44	
Kalk . . .	1,14	2,20	0,94	2,41	0,71	0,44	7,49	0,55	0,50	0,41	7,16	0,59	1,04	—
Magnesia .	0,40	1,80	2,90	1,60	0,95	1,24	3,84	1,08	1,39	0,37	2,32	2,65	17,10	31,55
Kali . . .	4,16	3,52	3,96	5,24	4,69	3,80	0,94	} 4,81 {	6,13	4,81	0,56	0,89	—	—
Natron . .	1,77	1,75	1,08	3,30	0,36	2,16	5,77		1,70	3,13	0,89	1,70	—	—
Wasser . .	1,16	1,85	1,11	0,98	0,78	2,04	0,51	3,74	*5,19	*1,50	0,21	0,26	11,24	4,[illegible]
Zusammen:	100,68	99,80	99,44	98,88	103,22	99,83	101,04	100,00	99,48	99,37	100,00	97,38	102,41	98,[illegible]

Die in der Rubrik Wasser stehenden, mit einem Sternchen bezeichneten Zahlen bezeichnen Wasser und Fluorsilicium.

Verbreitung auftreten, zu den gewöhnlichen, klastischen Thonschiefern hinüber, in welchen eine kristallinische Individualisierung der gesamten Gesteinsmasse nicht vorhanden ist. Oft werden die bereits genannten kristallinischen Schiefer noch von Hornblendeschiefer, Talkschiefer, Chloritschiefer begleitet, deren mineralogische Beschaffenheit schon aus ihren Namen hervorgeht, und endlich hat man unter der Bezeichnung der Grünschiefer sehr vielfach auftretende Gesteine zusammengefaßt, die alle durch ihre grüne Farbe ausgezeichnet sind, aber ihre mineralogische Konstitution mit freiem Auge nicht erkennen lassen. Die mikroskopische Untersuchung hat zwar nachgewiesen, daß unter diesem Namen sehr verschiedenartige Gesteine zusammengefaßt werden und man daher vom petrographischen Standpunkte aus diese Abteilung nicht als berechtigt anerkennen kann; aber dennoch ist es für den Geologen



Die Kalkmasse des Athos, vom Kloster Karokalu (Chalkidike) aus gesehen. Vgl. Text, S. 610.

noch immer von Nutzen, diese äußerlich einander durchaus ähnlichen Gesteine unter einer gemeinsamen Bezeichnung zusammenzufassen.

Als stete Begleiter der kristallinischen Schiefer sind noch zwei Gesteine zu nennen, die größtenteils keine feinere Parallelstruktur zeigen, aber mit den kristallinischen Schiefern untrennbar geologisch verknüpft sind, so daß sie mit diesen im Zusammenhange betrachtet und einer gemeinsamen Erklärung unterzogen werden müssen: zunächst der körnige Quarzit, eine deutlich kristallinische Quarzmasse, und ferner der kristallinische oder körnige Kalk oder Marmor[1], ein oft weißes, aus deutlichen kristallinischen Individuen bestehendes Kalkspataggregat, dessen Korn in der Regel dem des gewöhnlichen Zuckers gleichkommt, häufig aber viel gröber ist. Oft tritt er in normalen eingelagerten Bänken, oft aber auch in gewaltigen linsenförmigen Massen auf und bildet als schwer verwitterbares Material bei mächtiger Entwickelung hervorragende Berge oder Bergzüge im Gebiete der Schiefer. So

[1] In der Gesteinslehre wird nur dieser körnige Kalk, dessen bekanntester Repräsentant der weiße Statuenmarmor ist, als Marmor bezeichnet, ganz abweichend von dem Sprachgebrauche, der jeden politurfähigen Kalk mit diesem Namen belegt.

besteht die gewaltige, fast 2000 m hohe Pyramide des Athos, die Hochwarte des Griechischen Archipels, aus einer riesigen Marmorlinse, welche den kristallinischen Schiefern eingeschaltet ist und infolge ihrer Widerstandskraft hoch über die sanften Rücken dieser hervorragt (s. Abbildung, S. 609).

Wie wir gesehen haben, vereinigen die kristallinischen Schiefergesteine nicht nur in ihrer Gesamtheit Merkmale von sedimentären und von Massengesteinen in sich, sondern enthalten auch vollkommene Übergänge zu beiden Abteilungen. Die Analogien nach der einen Seite haben dahin geführt, in den Schiefern ein Produkt der Erstarrung aus glühendem Schmelzflusse zu sehen, diejenigen nach der andern Richtung, sie als unmittelbar aus Wasser gebildete Ablagerungen zu betrachten. Da aber jede dieser Auffassungen großen Schwierigkeiten begegnet, so müssen wir uns zu einer eingehenden Diskussion dieser Verhältnisse entschließen.

Der einfachste Weg scheint der zu sein, daß wir die einzelnen Mineralien der kristallinischen Schiefer ins Auge fassen und erwägen, in welcher Weise dieselben theoretisch entstanden sein können. Für die Mehrzahl unter ihnen stehen hier sehr verschiedene Wege offen, und gerade für einige Typen, die in den Schiefern die allergrößte Rolle spielen, kennen wir sehr mannigfaltige Bildungsarten; Quarz, Feldspat, Hornblende, Augit, Glimmer können unmittelbar aus Schmelzfluß auskristallisieren, und Vorkommnisse dieser



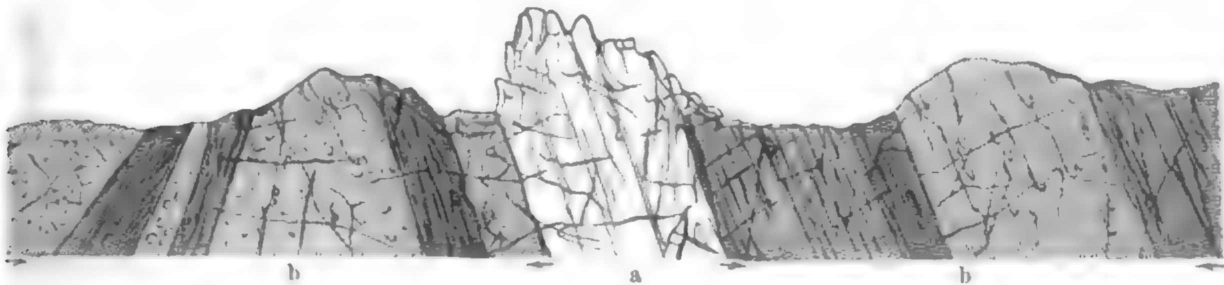
Durchschnitt durch den Böhmerwald. a Bojischer Gneiß — b hercynischer Gneiß — c hercynischer Glimmerschiefer mit einer Graniteinschaltung — d Phyllit — e kambrische und Silurformation — f Kohlenformation. Vgl. Text, S. 611.

Art sind teils in der Natur gefunden, teils im Laboratorium experimentell künstlich erzeugt worden. Die meisten dieser Mineralien finden sich aber auch als Sublimationsprodukte, als unmittelbare Bildungen aus den heißen Dämpfen der Vulkane an Kratern und Lavaströmen, und anderseits treten sie in der Natur unter Umständen auf, welche zeigen, daß sie sich bei gewöhnlicher Temperatur aus wässeriger Lösung ausgeschieden haben. Wir sehen sie als sogenannte Pseudomorphosen, deren Wesen weiter unten erläutert werden soll, oder auch als Kristalle im Innern tierischer Versteinerungen, d. h. unter Verhältnissen, welche jede andre Erklärung ausschließen. Endlich haben uns die am Ende des vorigen Kapitels erwähnten Versuche von Daubrée noch eine weitere Art der Bildung, nämlich durch die Einwirkung von überhitztem Wasser auf verschiedene Silikate, kennen gelehrt. Körniger kohlensaurer Kalk wird zwar in der Regel als Produkt wässeriger Kristallisation betrachtet werden müssen, doch haben die Versuche von Hall und einigen spätern Forschern den Beweis geliefert, daß Kreidepulver, Muschelschalen, Aragonit 2c., unter hohem Drucke geglüht, zu kristallinischem Kalke werden. Stark wasserhaltige Körper, wie Chlorit oder Talk, können allerdings nicht unmittelbar aus einem Schmelzflusse hervorgehen; aber gerade diese treten so häufig und allgemein als Zersetzungsprodukte andrer Mineralien auf, daß man ihnen wohl auch in den Schiefergesteinen eine ähnliche Entstehung zuschreiben darf.

Eine einfache theoretische Ableitung aus den Erfahrungen über die Bildung der einzelnen Mineralbestandteile der Schiefer liefert also keine Resultate, sondern es gibt für jeden derselben eine Reihe von Möglichkeiten, so daß wir alle übrigen Daten, vor allen die Lagerung und das Vorkommen, zu Rate ziehen müssen. Wo die kristallinischen Schiefer auftreten, bilden sie gewöhnlich die ältesten Gesteine, die Unterlage, über welcher sich die jüngern Absatzgesteine erheben; nur manche Granite 2c., die mit jenen in Verbindung stehen, reichen in ebenso frühe Zeiten zurück. Für eine große Anzahl von Distrikten läßt

sich auch bestimmt nachweisen, daß die kristallinischen Schiefer älter sind als die ältesten Schichten, aus welchen man sicher deutbare Fossilien bis jetzt überhaupt kennt; sie gehen als sogenannte archäische Bildungen selbst der kambrischen Formation mit ihrem rudimentären Tierleben voran. Böhmen, Schweden, England, Nordamerika und viele andre Gegenden haben diese Lagerungsfolge kennen gelehrt. Es mag von Interesse sein, die Art und Weise der Verknüpfung dieser verschiedenen Gesteine hier an einigen Beispielen zu erläutern.

Auf der Grenze zwischen Bayern und Böhmen liegt ein breites Waldgebirge, der Bayrische Wald und der Böhmerwald, welcher fast ganz aus „Urgebirge" zusammengesetzt ist. Es besteht aus einem breiten Walle lang gezogener, rundlicher Berge, die sich so dicht und gleichförmig aneinander schließen, daß Gümbel, dem wir ein ausgezeichnetes Werk über dieses Gebiet verdanken, sie mit einem erstarrten welligen Meere vergleicht; dunkle Urwälder bekleiden die Höhen, deren bedeutendste sich zu fast 1500 m erheben. Die Lagerung der Schichten ist im großen und ganzen eine gleichmäßige und zwar in der Art angeordnet, daß sie von Nordwesten nach Südosten streichen und nach Nordosten einfallen.



Durchschnitt durch den „Pfahl", Böhmerwald (nach Gümbel). a Quarzit — b Gneiß. Vgl. Text, S. 612.

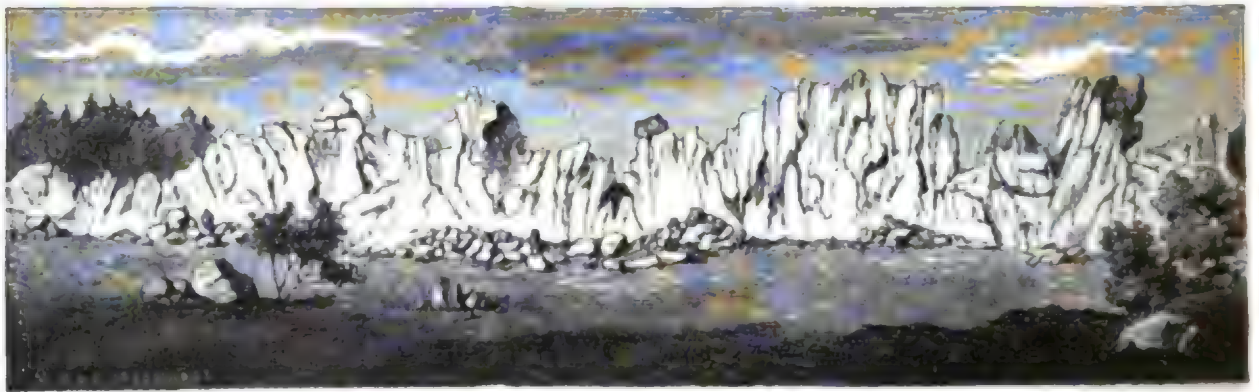
Zwar treten sehr mannigfaltige und namhafte Störungen auf, doch sind dieselben nur lokaler Natur, so daß die angegebenen Richtungen immer wieder als die Hauptzüge der Entwickelung hervortreten. Das Idealprofil auf S. 610 vergegenwärtigt diese Verhältnisse, aus denen folgt, daß man beim Betreten des südwestlichen Gebirgsrandes auf die ältesten Gebilde stößt und beim Durchschreiten des ganzen Zuges in der Richtung gegen Nordosten auf immer jüngere Schichten trifft.

Die ältesten Gesteine sind sehr mächtige Gneiße, welche mit Graniten, Quarziten &c. in Verbindung stehen. Zuerst treten vorwiegend rote und bunte Gneiße auf, die von Gümbel als die bojische Gneißformation bezeichnet werden. Diese überlagernd, folgen dann petrographisch etwas abweichende Gneiße von meist grauer Färbung, die hercynische Gneißformation. In dieser werden die höchsten Schichten oft ärmer an Feldspat und reicher an Glimmer, und schließlich entwickeln sich reine Glimmerschiefer, mit denen sich Hornblendeschiefer vergesellschaften: die hercynische Glimmerschieferformation. Endlich die jüngste Stufe bilden kristallinische Thonschiefer oder Phyllite, die hercynische Phyllitformation, welche nach oben in gewöhnliche, nicht kristallinische Thonschiefer übergeht. Es folgen Grauwacken, und hier stellen sich die ersten sicher deutbaren Reste von tierischen Versteinerungen ein: wir befinden uns in der kambrischen Formation, die sich allmählich und in gleichmäßiger Schichtfolge aus den kristallinischen Schiefern entwickelt.

Keine der genannten großen Formationen oder Abteilungen der archäischen Gesteine besteht ausschließlich aus demjenigen Gesteine, welches ihr den Namen gegeben hat; namentlich kommen innerhalb der Gneißbildungen mächtige Granite vor. Bald treffen wir diese in eruptiven Gängen, bald in stockförmigen Massen, deren tektonische Bedeutung schwer zu erklären ist; besonders aber sind es Granitpartien, die zwischen den Gneißlagen konkordant eingeschlossen sind und dann genau dieselbe petrographische Zusammensetzung zeigen wie

diese. In den roten und bunten Gneißen findet man granitische Partien eingeschaltet, welche sich von jenen nur durch das Fehlen der Schieferung unterscheiden, aber dieselbe bunte Färbung, dieselben Varietäten der Feldspate, Glimmer 2c. besitzen, kurzum sich als gleichartig gemengte, ungeschieferte, in dicke Bänke gesonderte Abänderungen des Schiefergesteines darstellen; analoge Graniteinlagerungen finden sich auch in den hercynischen Gneißen und entsprechen diesen in ihrer ganzen petrographischen Beschaffenheit.

Unter den andern Einschaltungen sind wohl am merkwürdigsten die Quarzite, welche in verschiedenen Horizonten, am hervorragendsten aber innerhalb der bojischen Gneiße auftreten (s. Abbildung, S. 611). Diese letztern enthalten namentlich eine verhältnismäßig wenig mächtige, aber auf sehr weite Strecken verfolgbare, gangartige Einschaltung von Quarzit, der infolge seiner außerordentlichen Zähigkeit und Widerstandskraft gegen die Verwitterung überall aus dem Gneiße hervorragt und, da die Schichten sehr steil aufgerichtet sind, wie eine zerklüftete und halb in Ruinen zerfallene Riesenmauer über die Umgebung sich erhebt. Der „Pfahl“ heißt diese auffallende Felsbildung dort im Volksmunde; in fast gerader



Eine Partie des „Pfahles“ im Böhmerwalde.

Linie läßt sich der zackige Felsgrat nur mit wenigen Unterbrechungen auf eine Erstreckung von mehr als 18 geogr. Meilen verfolgen (s. obenstehende Abbildung).

Von andern Bestandteilen der archäischen Gesteine nennen wir noch eingelagerte Bänke körnigen Kalkes sowie Graphit, die amorphe Modifikation des Kohlenstoffes, welche bekanntlich zur Bleistiftfabrikation dient; der Graphit findet sich teils im Gneiße, teils im Kalke.

Die Verhältnisse im Böhmerwalde mögen als ein Typus des Auftretens der alten kristallinischen Schiefer dienen, wie sie in den sogenannten Massengebirgen Europas vorkommen. Sehr ähnliche Verhältnisse wiederholen sich in andern Gegenden, und speziell ist hervorzuheben, daß in der Regel als ältestes Glied Gneiße, über ihnen Glimmerschiefer und die ihnen verwandten Gesteine, zu oberst Phyllite vorkommen, welche den Übergang zu den fossilführenden Formationen bilden. In Sachsen z. B. wiederholt sich auch die Zweiteilung des Gneißes in eine ältere rote und in eine jüngere graue Stufe, entsprechend der bojischen und hercynischen Formation Gümbels. Die Glimmerschiefer zeigen hier eine interessante Eigentümlichkeit, indem sie stellenweise durch Abnutzung gerundete Rollstücke älterer Felsarten, wie Gneiß und Granit, in Menge enthalten. Dieses in archäischen Gesteinen sehr seltene Vorkommen, das sich jedoch auch in andern Gegenden, z. B. in Norwegen und in Nordamerika, wiederholt, ist von großer Bedeutung für die Frage nach der Entstehung der kristallinischen Schiefergesteine.

Wir wollen hier nicht alle größern Vorkommnisse archäischer Bildungen in den Massengebirgen einzeln anführen, da es nicht in unsrer Absicht liegt, eine topographische Darstellung von ihnen zu geben, sondern nur an einigen Beispielen diejenigen Eigentümlichkeiten

kennen lehren, welche für die Beurteilung der Entstehung von Wichtigkeit sind. Von außereuropäischen archäischen Bildungen, unter welchen noch jene von Zentralafrika, von China und von Brasilien wegen ihrer riesigen räumlichen Verbreitung hervorzuheben sind, sollen hier nur diejenigen von Nordamerika zum Vergleiche mit jenen des Böhmerwaldes besprochen werden. In Nordamerika sind sehr eingehende Studien über diesen Gegenstand gemacht worden; auch dort ergab sich eine Anordnung, welche mit der von uns früher betrachteten große Ähnlichkeit hat. In regelmäßiger Schichtung liegen die Gesteine, und die Reihenfolge wird durch gewaltige Gneißmassen eröffnet, in denen mächtige Lagen von Quarziten und Kalken von fast durchgängig kristallinischer, sehr selten dichter Struktur enthalten sind. Von Bedeutung sind auch die allerdings sehr spärlichen Bänke von Konglomeraten sowie das Auftreten von Graphit. Über diesen Gesteinen, deren Mächtigkeit auf mehr als 6000 m veranschlagt wird, folgt in manchen Gegenden, durch diskordante Lagerung von jenen getrennt, eine jüngere, etwa 3000 m mächtige Stufe, in welcher Hypersthenite, körnige Kalke und Magneteisensteine besonders hervortreten. Die ganze Schichtfolge der Gneiße und Hypersthenite wird von den amerikanischen Geologen als laurentinisches System bezeichnet, nach dem Lorenzstrome, in dessen Gebiet sie ihre höchste Entwickelung erreicht.

Der Indianerstamm der Huronen oder der einst von ihnen umwohnte Huronsee hat einem jüngern Systeme kristallinischer Schiefer den Namen gegeben; Glimmerschiefer, Chlorit- und Talkschiefer, Phyllite, Graphitschiefer, Quarzite, Konglomerate, körnige Kalke lagern diskordant auf den laurentinischen Schichten, ruhen auf deren Rändern auf und füllen Niederungen derselben aus. In den Kalken der untersten Abteilung des huronischen Systemes sind noch rätselhafte Körper eingebettet, die als Versteinerungen von Organismen gedeutet worden sind und den Namen Palaeotrochis erhalten haben; in den höchsten Lagen treten dagegen, wenn auch sehr spärlich, unzweideutige Überbleibsel von tierischen Fossilien auf, nämlich Stielglieder von Seelilien oder Krinoiden sowie minder deutliche Spuren, welche der Anwesenheit von Ringelwürmern zugeschrieben werden. Ablagerungen mit reichlichen organischen Resten sind in den huronischen Bildungen nicht vorhanden, sie erscheinen in größerer Menge erst in jüngern, diskordant aufgelagerten Bildungen.

Wenn so in mehreren sehr verschiedenen Gegenden unter den tiefsten kambrischen Schichten zunächst kristallinische Thonschiefer oder Phyllite liegen, wenn diese durch Glimmerschiefer und die verwandten Gesteine „unterteuft“ sind und endlich die Basis des Ganzen eine Gneißmasse bildet, die häufig in einen obern Komplex mit vorwiegend grauer und einen untern mit vorwiegend bunter oder roter Farbe zerfällt, so legen derartige Verhältnisse die Annahme nahe, daß diese einzelnen Abteilungen in den verschiedenen Gegenden sich als gleichzeitige Bildungen entsprechen, wie dies auch von zahlreichen Forschern behauptet worden ist. Weiter führt die daraus abgeleitete Gleichartigkeit der Gesteinsentwickelung einer und derselben Periode zu dem Satze, daß in jenen Urzeiten sehr gleichmäßige Verhältnisse über die ganze Erde hin geherrscht haben.

Eine solche Auffassung scheint auf den ersten Blick sehr plausibel; es leuchtet ein, daß die bojischen und hercynischen Gneiße des Böhmerwaldes, die roten und grauen Gneiße des Erzgebirges den sogenannten Fundamentalgneißen Schottlands oder den altlaurentinischen Gneißen Nordamerikas entsprechen. Ebenso würden die hercynischen Glimmerschiefer und Urthonschiefer dem größten Teile des huronischen Systemes in Amerika korrespondieren. Aber alle diese Annahmen ruhen auf sehr schwacher Grundlage. Neuere Untersuchungen haben es sehr wahrscheinlich gemacht, daß ein den hercynischen Bildungen des Bayrischen Waldes entsprechendes huronisches System in Nordamerika gar nicht existiert, sondern daß die betreffenden Schiefer umgeänderte Sedimente kambrischen und silurischen Alters darstellen. Damit fällt die Hauptstütze jener Annahmen weg, und wenn auch von den andern

Parallelen zwischen einzelnen Teilen der archäischen Ablagerungen verschiedener Gegenden die eine oder die andre sich als richtig erweisen könnte, so fehlt es doch vorläufig noch an irgend welchem Beweise hierfür.

Organisches Leben in archäischer Zeit.

Es ist sicher, daß wir aus vielen Gegenden unter den ältesten kambrischen Ablagerungen mächtige Massen geschichteter und meist auch geschieferter kristallinischer Gesteine kennen, deren Entstehung zu erklären eine der Hauptaufgaben der Geologie darstellt. Dabei tritt uns eine andre Frage entgegen, die eine der wichtigsten im ganzen Gebiete der Geologie ist: Haben in der archäischen Zeit schon Organismen gelebt, oder herrschten damals auf dem Erdballe Verhältnisse, welche deren Existenz unmöglich machten?

Es finden sich allerdings in der Oberregion der huronischen Formation Amerikas Spuren von Krinoiden und vielleicht von Ringelwürmern, doch treten diese erst an der äußersten Grenze der archäischen Bildungen gegen die kambrischen Ablagerungen auf, zu denen ja vielfach Übergänge hinüberführen, so daß auf diese Vorkommnisse kein sehr großer Wert zu legen ist. Ferner wird der organische Ursprung der Palaeotrochis genannten eigentümlichen Körper, welche die Form eines Doppelkegels besitzen und tierische Überreste darstellen sollen, von verschiedenen amerikanischen Forschern in Zweifel gezogen, und überdies werden neuerdings die huronischen Ablagerungen gar nicht mehr als archäisch betrachtet. Ein Gebilde aber ist zu nennen, dessen Auffindung das größte Aufsehen erregte, da es bis mitten in die Gneißmassen des Grundgebirges das Vorhandensein deutlicher Fossilreste zu beweisen schien. Mit Einem Schlage that sich ein Ausblick auf, welcher ungemessene Zeiträume mit organischen Wesen lange vor Beginn der kambrischen Bildungen zeigte. An der Basis ungeheuer mächtiger kristallinischer Gesteinskomplexe tauchten die Spuren eines Wesens von niedrigem Entwickelungsgrade auf, und mit Recht durfte man es das Eozoon (ἔως [eos], Morgenröte; ζῷον [zoon], Tier) nennen, das Wesen, welches die erste Dämmerung beginnenden Lebens bezeichnete. Allerdings ist diesen Anschauungen keine Bestätigung zu teil geworden, sie beruhen sogar höchst wahrscheinlich auf einem Irrtume. Trotzdem sind aber die Akten über den Gegenstand noch nicht geschlossen, und da die Ansichten von der tierischen Natur des Eozoons vielfach einen sehr tiefgreifenden Einfluß ausgeübt haben und durch populäre Darstellungen die Bedeutung dieses Gegenstandes eingehend hervorgehoben worden ist, so müssen wir denselben etwas genauer besprechen.

In den Marmormassen, welche den laurentinischen Gneißen Kanadas eingelagert sind, finden sich Partien, die durch Einsprengung von Körnern, Bändern und Fasern von Serpentin oder ähnlichen wasserhaltigen Silikaten ausgezeichnet sind. Bei genauerer Betrachtung dieses Gesteines fiel dem kanadischen Geologen Logan auf, daß die Anordnung der Mineralgemengteile Ähnlichkeit mit der Anordnung von Kammern und Kanälen mancher niedrig organisierter, kalkschaliger Tiere besitze, und mikroskopische Untersuchungen bestätigten diese Wahrnehmung. In Kanada trat namentlich Dawson für dieselbe ein, und große Verbreitung fand diese Annahme dann, als im Jahre 1864 einige der ersten Foraminiferenkenner Englands und namentlich Carpenter sich für die tierische Natur des Eozoons erklärten. In den verschiedensten archäischen Distrikten Europas, in Irland, Schweden, im bayrisch-böhmischen Grenzgebirge, in Schlesien, in den Alpen und Pyrenäen, wurden ähnliche Bildungen gefunden, als Eozoon bezeichnet und eingehenden Studien über ihre Struktur unterzogen.

Das Eozoon wurde als eine hand- und selbst kopfgroße, irregulär gebaute Form aus der Abteilung der Foraminiferen, niedrig organisierter Urtiere, beschrieben; der Kalk sollte

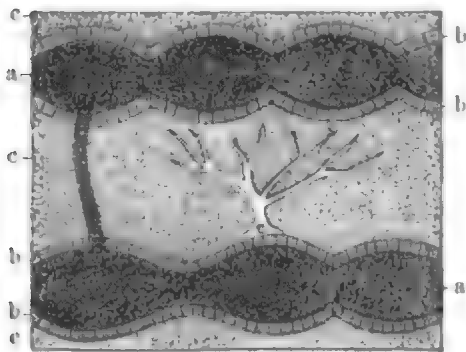
das Gehäuse, die Serpentinpartikeln die Ausfüllung von Kammern und Kanälen in diesem darstellen (s. untenstehende Abbildung). Die äußere Gestalt bietet in der Regel eine breite Basis und gewölbte Oberseite. Ohne Vergrößerung sieht man reihenförmig angeordnete Streifen von Serpentin, welche an manchen Stücken zahlreiche Einschnürungen zeigen und dadurch ein etwa perlschnurartiges Aussehen erhalten; jede Perle würde demnach eine Kammer darstellen, deren jede mit den beiden benachbarten in weit offener Verbindung steht. Die einzelnen Serpentinzüge sind von schmalen Streifen eingesäumt, die sich unter dem Mikroskope bei starker Vergrößerung als zahlreiche, überaus feine Serpentin- oder Asbestfasern von paralleler Lagerung entpuppen. Diese feinen Fasern werden als die Ausfüllung zarter Poren betrachtet, wie sie in den Wandungen vieler Foraminiferen auftreten, und diese Erscheinung wird als ein Haupt-Argument für die organische Natur des Eozoons angeführt. Zwischen je zwei Serpentinstreifen verläuft eine kompaktere Partie von Kalk, der keine zarten Fasern, wohl aber gröbere kanalartige Partien von Serpentin enthält, welche entweder zwei der sogenannten Kammerreihen miteinander verbinden, oder sich verzweigen und in dem Kalke blind endigen. Auch für diese Erscheinungen finden wir wenigstens teilweise Analogien bei den Foraminiferen, indem an manchen unter diesen zwischen den porösen Teilen der Schale dichte, nur bisweilen von groben Kanälen durchsetzte Kalkpartien auftreten. Es würde sich demnach der Bau der Kammern des Eozoons nach dieser Auffassung so darstellen, wie ihn die beiden Abbildungen auf S. 616, Kopien nach Carpenter und Dawson, zeigen.



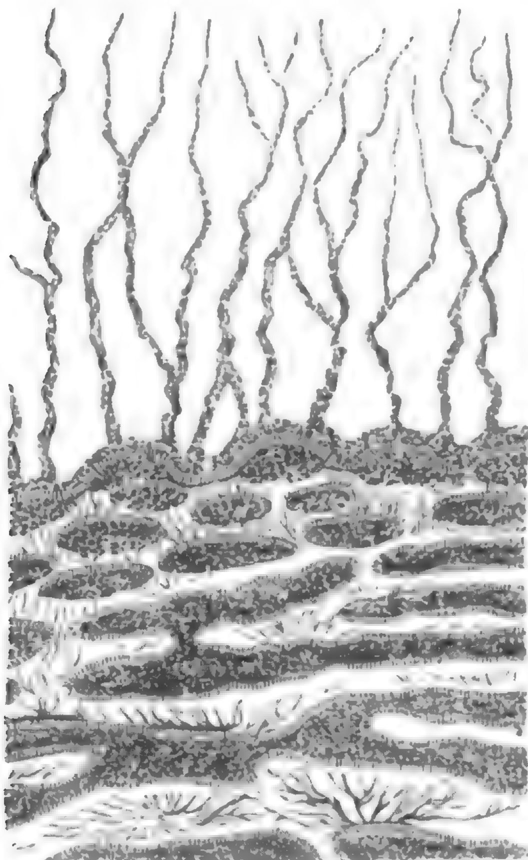
Eozoon (nach Logan). ½ der natürl. Größe.

Obwohl diese Ansichten von sehr vielen Paläontologen acceptiert wurden, trafen sie doch auch vielfach teils auf entschiedene Opposition, teils auf ablehnende Haltung und Unglauben. Insbesondere Carter, King und Rowney in England und Hahn in Deutschland suchten zu zeigen, daß kein Beweis für die organische Natur des Eozoons vorhanden sei, sondern daß man es mit einfachen Mineralausscheidungen zu thun habe. Namentlich aber war es Möbius, der unter Benutzung sehr vollständigen Materiales die Frage eingehend erörterte und zu dem Resultate kam, daß in der That das Eozoon eine unorganische Bildung sei. Er bewies, daß sich an demselben nirgends die organischen Bildungen eigentümliche Regelmäßigkeit zeigt, und daß die angeblichen Kanäle, wenn sie durch Salzsäure aus dem Gesteine befreit werden (s. obere Abbildung, S. 617), keinerlei Ähnlichkeit mehr

mit den Kanälen der Foraminiferen besitzen und nicht rund, wie diese, sondern flache, unregelmäßige Lamellen sind. Ebensowenig stimmt die Lage überein, denn während bei allen Foraminiferen mit Kanalsystem dieses in der Nähe der Keimkammer entspringt und entweder in der Oberfläche der Schale mündet, oder vorher noch ein Netzwerk bildet, sind die Serpentinstengel des Eozoons ohne jede Regelmäßigkeit zerstreut. Ähnlich verhält es sich mit der Faserlage, welche als den porösen Zellwandungen entsprechend gedeutet wurde. Wäre diese Deutung richtig, so müßte jene Faserlage der Hauptmasse nach aus Kalk bestehen und runde Fasern des Silikates einschließen; Möbius zeigt aber, daß sie gar keinen Kalk enthält, sondern aus lauter überaus feinen prismatischen Silikatfasern zusammengesetzt ist. Mit einer porösen Zellwand ist also nicht die geringste Analogie vorhanden. Während ferner die Poren in den Wänden von Foraminiferen stets so gestellt sind, daß sie auf kürzestem Wege von der Innenseite der Kammer nach der Außenfläche reichen, nehmen die Eozoonfasern die verschiedensten Richtungen gegen die als Kammern geltenden Serpentinkörner an; sie stehen untereinander alle parallel, unbekümmert um die Lage der Serpentinkörner, statt sich ungefähr senkrecht zur Oberfläche dieser zu stellen (s. untere Abbildung, S. 617). Jedenfalls ist durch die Arbeiten von Möbius sicher bewiesen, daß das Eozoon keine Foraminifere war; seine organische Natur ist in hohem Grade unwahrscheinlich, wenn auch manche kompetente Forscher sie als noch nicht definitiv widerlegt betrachten. Als Begleiter des Eozoons sind noch einige andre kleine Organismen aus den laurentinischen Ablagerungen genannt worden, die aber von jeher weniger beachtet wurden und heute keinesfalls mehr den Anspruch erheben dürfen, als solche mit Entschiedenheit anerkannt zu werden.



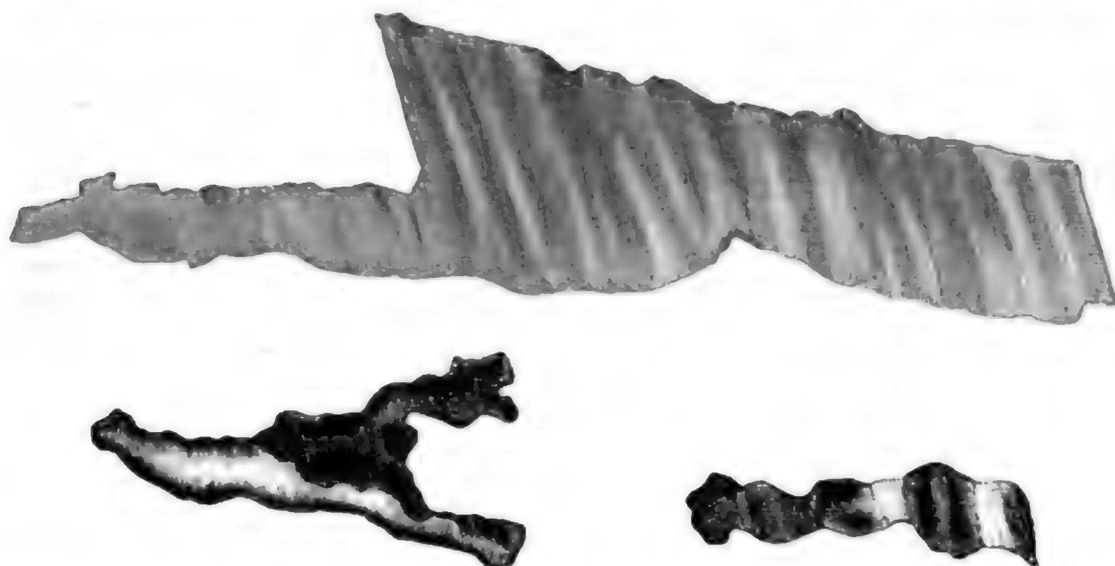
Ein Stück Eozoon, ideal dargestellt (nach Carpenter); stark vergrößert.
a Serpentinausfüllung der Kammern — b Faserstreifen — c kompakter Kalk — e verzweigter Kanal. Vgl. Text, S. 615.


Ein Stück Eozoon, mit den Weichteilen restauriert (nach Dawson); stark vergrößert. Vgl. Text, S. 615.

Wenn aber nun die tierische Natur des Eozoons und seiner Genossen nicht mehr behauptet werden kann, so ist damit die Existenz organischen Lebens in der archäischen Zeit noch nicht widerlegt. Im Gegenteile haben wir sehr wichtige Anhaltspunkte für die Annahme, daß solches bestanden habe, daß aber die äußere Form der damaligen Tiere und Pflanzen verloren gegangen sei; denn wenn sich auch die Gestalt nicht erhalten hat, so sind doch Stoffe vorhanden, für deren Bildung wir keine andre Erklärung haben als die Thätigkeit von Organismen.

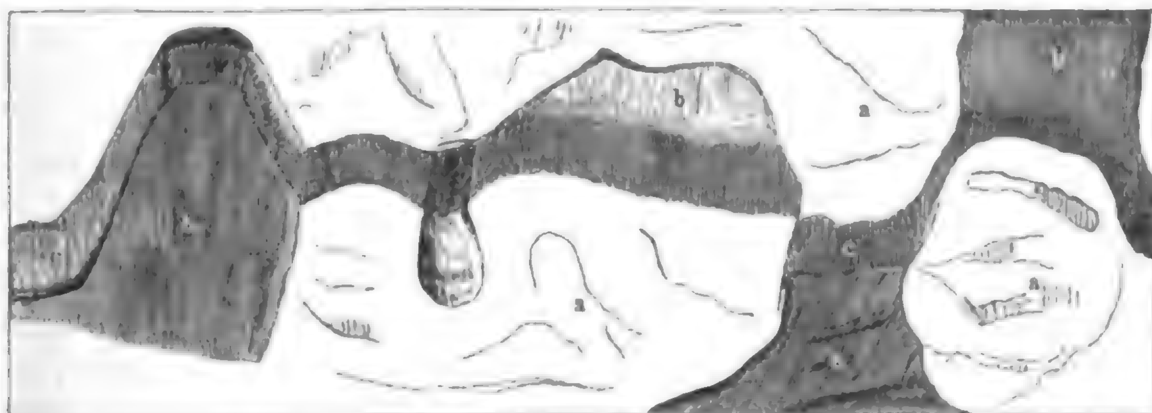
In erster Linie sind die **kohligen Substanzen** zu nennen, die in vielen archäischen Gesteinen vorkommen. Tiere und Pflanzen unterliegen nach ihrem Tode einem Verwesungsprozesse, der bei hinreichendem Zutritte von Sauerstoff in der Bildung von Kohlensäure,

Ammoniak und Wasser seinen Abschluß findet. Bei unzureichendem Zutritte von Sauerstoff aber nimmt die Zersetzung einen andern Verlauf; es bilden sich vor allem die mineralischen Kohlen durch einen Prozeß, dessen Beginn wir in der unter unsern Augen vor sich gehenden Bildung der Torfmoore beobachten können, und dessen weitere Produkte der Reihe nach, entsprechend ihrem geologischen Alter, uns als Braunkohle, Steinkohle, Anthracit



Angebliche Kanäle von Eozoon, durch Salzsäure losgelöst, stark vergrößert (nach Möbius). Vgl. Text, S. 615.

und Graphit entgegentreten. Wir kennen für diese Stoffe, von welchen in einem andern Abschnitte ausführlich die Rede sein wird, und für alle die bituminösen Substanzen, Petroleum 2c., keine andre Art der Entstehung in der Natur als die durch die Zersetzung organischer Körper, und wo immer wir sie in den Gesteinen unsrer Erde angehäuft finden, dürfen wir die Existenz von Tieren oder Pflanzen voraussetzen.

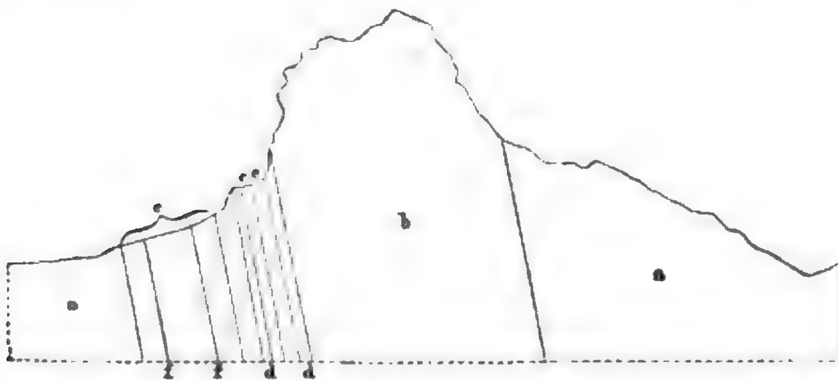


Dünnschliff von Eozoon, stark vergrößert (nach Möbius). a Serpentin — b Kalk — c Faserstreifen. Vgl. Text, S. 616.

Graphit findet sich in großer Menge und an sehr zahlreichen Punkten in archäischen Ablagerungen; aber nicht nur dieses letzte Endglied in der Reihe der Mineralkohlen tritt auf, auch Anthracit wird aus dem Gneiße Norwegens citiert, und Igelström fand sogar bei Nullaberg in Wermland (Schweden) stark bituminöse Lagen von Gneiß und Glimmerschiefer, welche bis zu 10 Prozent organischer Substanzen enthalten (s. Abbildung, S. 618). Mitten in den archäischen Schichten liegen dort mehr als 30 m mächtig Gneiße und Glimmerschiefer, welche ihrer ganzen Ausdehnung nach vollständig mit bituminöser Substanz durchdrungen sind. Sie haben durch letztere eine schwarze Färbung erhalten, aus der in einzelnen Lagen die silberweißen Glimmerschüppchen hervorleuchten. Nach unsern heutigen

Erfahrungen gibt es, da wir keine andre Entstehungsweise für Graphit, Anthracit und Bitumen kennen, für solche Bildungen nur eine einzige Erklärung: die Thätigkeit von Organismen.

Auch die überaus zahlreichen Vorkommnisse von kristallinischem und die sehr seltenen von dichtem Kalke in den archäischen Bildungen verdanken ihre Entstehung höchst wahrscheinlich lediglich der Anhäufung und Zertrümmerung kalkiger Schalen und ähnlicher Teile von Tieren. Da wir dies, wie bereits in einem frühern Abschnitte (s. S. 556) gezeigt wurde, für alle ausgedehntern Kalkbildungen der Jetztzeit und aller fossilführenden Formationen annehmen müssen, so wäre es sehr unnatürlich, für die in ihren Lagerungsverhältnissen so ähnlichen archäischen Kalke eine andre, uns vorläufig unbekannte und unverständliche Entstehungsweise zu vermuten. Wir können unter diesen Umständen keinen Zweifel hegen, daß die archäische Zeit schon tierisches und pflanzliches Leben besessen habe. Daß wir nicht, wie in spätern Gesteinen, so auch in den kristallinischen Schiefern deutliche versteinerte Überreste der damaligen Organismen finden, erklärt sich sehr wohl durch den Verlust von Form und Struktur infolge des Kristallisationsprozesses.



Profil durch die bituminösen Gneiße und Glimmerschiefer von Nullaberg in Wermland, Schweden (nach Igelström).
a Gneißgranit — b Hyperit — c bituminöser Gneiß und Glimmerschiefer — d bituminöser Glimmerschiefer — e feinkörniger Gneiß und Glimmerschiefer — f dünne bituminöse Schichten. Vgl. Text, S. 617.

Einen weitern Beweis für die Existenz zahlreicher organischer Formen in der archäischen Zeit hat die Deszendenzlehre vorgebracht: sie führt alle Tier- und Pflanzenformen auf wenige einfach organisierte Stammtypen zurück, aus denen sich durch allmähliche Umänderung die Bevölkerung aller spätern Perioden entwickelt haben soll. Nun sind aber die ältesten Versteinerungen der kambrischen Zeit weit davon entfernt, diesen Voraussetzungen zu entsprechen, da man dort schon ziemlich hoch stehenden Krebstieren, Brachiopoden und andern Tieren begegnet; es müssen daher noch vor der kambrischen Formation lange Zeiträume angenommen werden, in welchen diese Typen sich aus einfachen, unsern jetzigen Protozoen entsprechenden Lebewesen entfaltet hätten. Dieser Vorgang könnte aber nur in der archäischen Periode stattgefunden haben, so daß sich jeder Anhänger Darwins zu dieser Annahme gezwungen sehen wird. Allein wenn die letztere auch eine natürliche Konsequenz der Deszendenztheorie darstellt, so dürfen wir doch nicht vergessen, daß die Abstammungslehre selbst noch nicht allgemein als bewiesen angesehen wird, ja daß die Existenz archäischer Organismen eine wesentliche Bedingung ihrer Richtigkeit ist. Es wäre demnach ein großer Fehler, wollte man die eine Annahme durch die andre beweisen und dann noch einmal denselben Schluß umgekehrt anwenden.

Jedenfalls genügt das Vorkommen von Graphit, Anthracit, Bitumen und weit ausgedehnten Kalkbänken, um die Existenz archäischer Organismen darzuthun. Für die Beurteilung der Bildung der kristallinischen Schiefer geht daraus hervor, daß der Absatz ihres Materiales unter Verhältnissen vor sich gegangen sein muß, welche tierisches und pflanzliches Leben ermöglichten, insbesondere aber bei einer Temperatur von weniger als 100° C.

Jüngere kristallinische Schiefer.

Kristallinische Schiefer, welche der archäischen Periode angehören, treten gerade in Mittel- und Westeuropa sehr verbreitet auf, und da die Kenntnis der Geologie von hier ihren Ausgang genommen hat, so wurden auch diese Verhältnisse für die ganze Auffassung maßgebend. Im Böhmerwalde, Erzgebirge, in den Sudeten, im Harze, Schwarzwalde, Vogesen, am Zentralplateau von Frankreich, in der Bretagne, in manchen Teilen von Schottland, in Skandinavien sind ausgedehnte Massen kristallinischer Schiefer vorhanden, welche älter als die kambrischen Bildungen sind oder wenigstens älter als die tiefsten versteinerungsführenden Ablagerungen derselben Gegenden. Infolgedessen entwickelte sich ziemlich allgemein die Ansicht, daß alle kristallinischen Schiefer derselben Periode angehörten und älter seien als die Schichten der kambrischen Formation. Wohl ist eine große Menge von Fällen angeführt worden, in denen auch jüngere kristallinische Schiefer auftreten; aber noch immer sind viele Geologen von jener erstern Ansicht so durchdrungen, daß sie alle diese Beobachtungen als das Ergebnis von Täuschungen betrachten, ohne in der Regel weitere Anhaltspunkte dafür zu haben, als daß die mitgeteilten Thatsachen mit ihren theoretischen Anschauungen nicht übereinstimmen.



Schwanzschilder von Trilobiten aus dem Glimmerschiefer von Bergen in Norwegen (nach Reusch). Vgl. Text, S. 620.

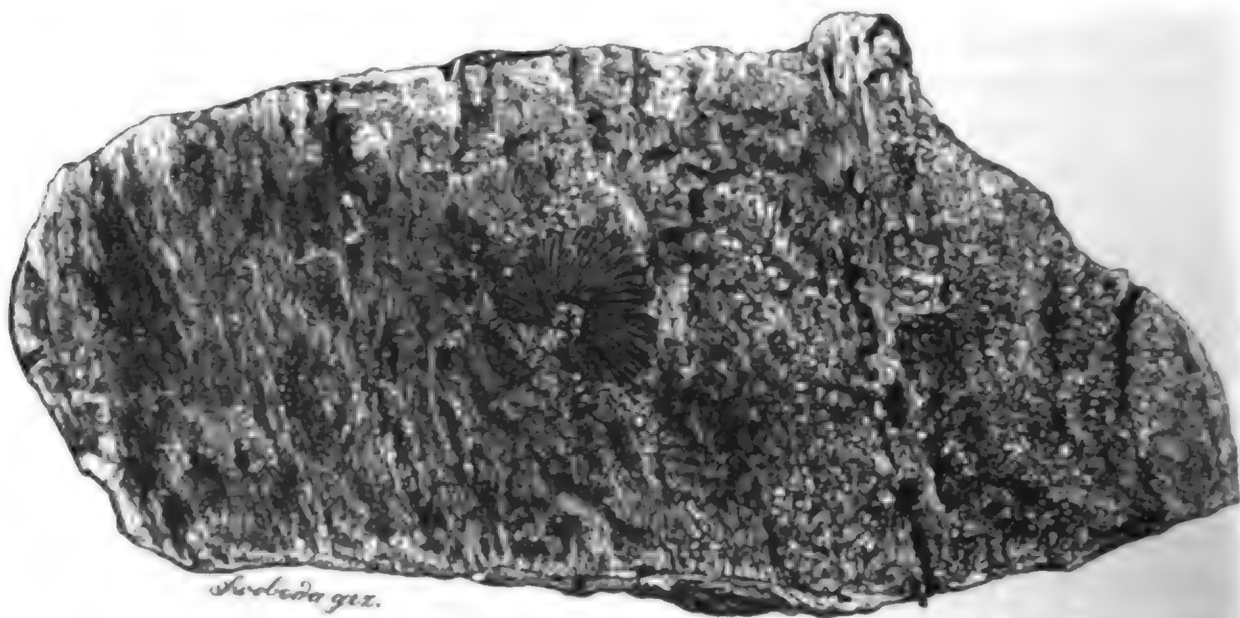
Es muß auffallen, daß für viele der oben genannten Gegenden der Beweis nicht erbracht werden kann, daß die kristallinischen Schiefer, die das älteste vorhandene Gestein bilden, auch älter sind als die kambrische Formation. So sind im Schwarzwalde und in den Vogesen keinerlei versteinerungsführende Schichten vom Alter der kambrischen Formation bekannt, und somit ist es eine ganz willkürliche, wenn auch möglicherweise richtige Annahme, daß die dortigen kristallinischen Schiefer vorkambrisch seien.

Von Interesse sind die Verhältnisse im nördlichen Mähren; die kristallinischen Schiefer werden dort direkt von den Ablagerungen des untern Devon bedeckt, die mit ihnen in ebenso innigen Beziehungen stehen und ohne irgend welche scharfe Trennung sich aus ihnen entwickeln wie die kambrischen Ablagerungen in Böhmen. Die unterdevonischen und mitteldevonischen Bildungen im Norden von Mähren, welche aus glimmerreichen Quarziten und glimmerschieferähnlichen Thonschiefern bestehen, haben selbst noch so kristallinisches Aussehen, daß man sie bis zur Auffindung von Versteinerungen für archäische Bildungen hielt. Wir sehen uns daher zu der Annahme gezwungen, daß hier Kambrium und Silur in einer petrographischen Entwickelung vorhanden seien, wie man sie sonst als für die ältesten Bildungen charakteristisch bezeichnet.

Auch in den Ardennen, im Harze und Taunus treten kristallinische Schiefer jüngern Alters auf. Nach den Forschungen von Lossen entsprechen die im Taunus vorkommenden Gneiße, Augitschiefer, Glimmerschiefer, Phyllite ganz denjenigen archäischer Gebiete, werden aber durch halbkristallinische Gesteine mit normalen Sedimenten der devonischen Formation verknüpft und stehen mit diesen durch ihre Lagerung in so untrennbarer Verbindung, daß auch sie als gleichzeitig gebildet, als Sedimente der devonischen Zeit betrachtet werden müssen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Beobachtung, daß kristallinische Ausbildung da am klarsten hervortritt, wo die Schichten sehr stark aufgerichtet und gestört

sind, während die normaler gebauten und regelmäßiger gelagerten Teile des Gebirges vorwiegend den gewöhnlichen klastischen Gesteinscharakter besitzen, eine Bemerkung, die auch in andern Fällen gemacht worden ist.

Daß auch in Skandinavien große Massen kristallinischer Schiefer von paläozoischem und speziell von kambrischem und silurischem Alter auftreten, ist eine schon seit langer Zeit gemachte Annahme, die namentlich durch Leopold von Buch scharfen Ausdruck gefunden hat; die nordischen Geologen belegen dieselbe durch Angaben, welche kaum einen Zweifel mehr bestehen lassen. Nach den Schilderungen von Kjerulf scheint das Gebiet von Drontheim durch das Vorkommen junger kristallinischer Schiefer in größter Verbreitung ausgezeichnet; die verschiedenen Horizonte treten dort bald in dieser eben erwähnten, bald



Steinkohlenpflanze (Asterophyllites) aus dem Protogin der Piemontesischen Alpen (nach Michelotti).

in der Form normaler Sedimentgesteine auf. Für die Umgebung von Bergen ist von Reusch der Nachweis erbracht, daß die dortigen früher für Urgebirge gehaltenen Gesteine: Talkglimmerschiefer, Gneiß, Thonglimmerschiefer, Quarzit und Marmor silurischen Alters sind und zahlreiche Versteinerungen, Trilobiten, Schnecken, Brachiopoden und Korallen, führen (s. Abbildung, S. 619).

Verwickelter liegen die Verhältnisse in den Alpen. Wir haben bisher nur von den Gesteinen der alten Massengebirge gesprochen und gesehen, daß sich schon hier nicht überall das hohe vorkambrische Alter der kristallinischen Schiefer behaupten läßt. Sobald wir uns aber den jungen Kettengebirgen zuwenden, wie sie uns in Europa durch Alpen, Karpaten, Apenninen, Pyrenäen, den westlichen Gebirgszug der Balkanhalbinsel 2c. repräsentiert werden, geraten wir in die größte Unsicherheit. Wir finden z. B. in der Zentralkette der Alpen eine bedeutende Entwickelung von Gneißen, Glimmerschiefern und verwandten Gesteinen; allein dafür, daß dieselben wirklich vorkambrisch und archäisch seien, liegt nicht die Spur eines Beweises vor, und die Angabe von der Auffindung einer Steinkohlenpflanze in einem Stücke von Protogingneiß der Piemontesischen Alpen läßt hier noch die eigentümlichsten Aufschlüsse erwarten (s. obenstehende Abbildung).

Daß verhältnismäßig junge kristallinische Schiefer in den Alpen auftreten und sich hier ebenso wie in den Apenninen sogar bis in den Beginn der Tertiärzeit erstrecken, wurde schon vor langer Zeit von L. von Buch, Merian, Studer, Escher von der Linth, Theobald, Stur und andern hervorgehoben, während in neuerer Zeit Sueß

die Zugehörigkeit weitverbreiteter Thonglimmerschieferbildungen in den Südalpen (sogenannter Kasannaschiefer) zur Steinkohlenformation und dem Perm dargethan und Stache die Reihe der paläozoischen Bildungen in den äußern Zonen der Alpen durch normale sedimentäre Schichten, nach dem Zentrum hin dagegen durch mannigfaltige, bis zum Niveau der permischen Formation hinaufreichende Phyllite vertreten gefunden hat.

Weit ausgedehnt sind sehr junge kristallinische Gesteine in den Küstenländern des Griechischen Archipels. In Mittelgriechenland z. B. bestehen die westlichen Gebirge, das Hochland Akarnaniens, die Ätolischen Alpen, die gewaltigen Massen der Varbussa, des Giona, Parnaß und Helikon, der Öta und der größere westliche Teil des Othrys, aus normalen Sedimenten der Kreideformation. Diese überaus mächtigen, dichten, weißlichgrauen Kalke, welche vielfach Versteinerungen der Kreideformation enthalten, wechseln mit ungeheuern Massen fast versteinerungsleerer Sandsteine und Schieferthone ab, die, Macigno genannt, mit verwandten Gebilden andrer mediterraner und alpiner Gebiete große Ähnlichkeit haben. Im östlichsten Teile des Gebietes finden sich dagegen vollständig kristallinische



Die Akropolis von Athen.

Glimmerschiefer, Gneiße und Marmor in innigster Verbindung mit Bildungen, in welchen zwar kristallinische Mineralelemente dominieren, daneben aber unter dem Mikroskope Partien hervortreten, die das amorphe Aussehen klastischer Gemengteile besitzen. In andern Proben überwiegen diese letztern Gemengteile und bringen dadurch diese Gesteine dem Macigno nahe, der mit den Phylliten durch Gesteinsübergänge verbunden ist. Aber auch der Lagerung nach gehen die Bildungen in ihrer horizontalen Richtung ineinander über, so daß man auf einer Strecke von wenigen Stunden den Übergang einer Entwickelungsart in die andre genau verfolgen kann.

Athen liegt gerade auf der Grenze zwischen den beiderlei Gebilden; die Gebirge im Westen sind rein sedimentär, Hymettos im Südosten ist schon kristallinisch, während die Gesteine, auf denen die Stadt steht, die Hügel, welche in nächster Nähe sie umgeben, halbkristallinisch sind. In früher Vorzeit war über die halbkristallinischen Schiefer des Untergrundes der Niederung von Athen eine nicht sehr mächtige Decke von Kalken ausgebreitet, welche jetzt zum größten Teile der Verwitterung anheimgefallen und nur noch in einzelnen Fetzen liegen geblieben ist. Sie bilden mit schroff aufragenden Wänden die Hügel der Stadt, die Akropolis (s. obenstehende Abbildung), den Areopag, die Pnyx, den Lykabettos 2c., sind in einzelnen Partien dicht, in andern ziemlich kristallinisch und enthalten an vielen Stellen Spuren von Kreideversteinerungen; selbst der zuckerkörnige Marmor des Hymettos lieferte deutliche Korallenreste, und mitten im Phyllitgebiete, an dem berühmten Laurionbergwerke, ist eine Spur einer Versteinerung entdeckt worden.

Ähnliche Beobachtungen liegen aus der Umgebung des Griechischen Archipels in Menge vor; aus Albanien, Thessalien, Euböa, dem Peloponnes, Kreta, Kleinasien schildern übereinstimmende Berichte den innigen Zusammenhang von Kalken, Sandsteinen und Schieferthonen der Kreideformation mit Marmor und kristallinischen Schiefern. Aber nicht nur in diesem Gebiete kommen Phyllite so jungen Alters vor, sondern auch aus weit entlegenen Gegenden, aus Birma, von den Andamanen und Nikobaren, aus dem Feuerlande, den südamerikanischen Anden, aus dem kalifornischen Küstengebirge, wurden solche geschildert. Obwohl der Nachweis solcher Verhältnisse zu den schwierigern Aufgaben geologischer Naturbeobachtung gehört, so kann doch die Thatsache, daß eine sehr große Menge von Forschern an den verschiedensten Punkten der Erde zu ähnlichen Resultaten gelangte, keinen Zweifel mehr darüber obwalten lassen, daß kristallinische Schiefer sich wirklich noch in verhältnismäßig jungen Ablagerungen finden, wenn auch zufällig aus denjenigen Gegenden Europas, von welchen das Studium der Geologie ausging, kein derartiger Fall zu verzeichnen ist.

Entstehung der kristallinischen Schiefer.

Wir wissen sicher, daß sich in unsrer Zeit am Boden des Meeres keine kristallinischen Schiefer absetzen, und können daher auch ihre Entstehung nicht als unmittelbares Produkt eines der jetzt noch thätigen Sedimentationsvorgänge ansehen. Werner hat zwar in der ersten Zeit der Entwickelung der Geologie die Ansicht ausgesprochen, daß Gneiß und Glimmerschiefer unmittelbar aus dem Meere auskristallisiert seien, unter denselben Verhältnissen der Temperatur, wie sie jetzt herrschen; aber diese Anschauung ist längst verlassen[1]. Es bleiben demnach nur zwei Möglichkeiten übrig: entweder haben sich die kristallinischen Schiefer unter Verhältnissen, die heute nicht mehr existieren, unmittelbar gebildet, oder sie sind unter Umständen, welche den jetzigen entsprechen, abgelagert, haben aber später eine Umänderung erlitten. Beide Ansichten, die von einer ursprünglichen kristallinischen Ausbildung und die von einer spätern Metamorphose, haben zahlreiche Vertreter gefunden, und noch heute stehen sich die Parteien schroff gegenüber.

Wie wir oben gesehen haben, stimmen Gneiß und Granit ihrer mineralogischen Zusammensetzung nach überein, und ersteres Gestein unterscheidet sich nur durch seine Schichtung und Schieferung von dem letztern. Da ferner auch Übergänge zwischen beiden vorkommen, so lag es nahe, für beide denselben Ursprung und auch für den Gneiß eine Bildung

---

[1] In neuerer Zeit hat man allerdings die Möglichkeit eines solchen Vorganges nachzuweisen versucht. Entscheidende Gründe gegen diese Annahme werden sich unten von selbst ergeben, ganz abgesehen von der Thatsache, daß in der Jetztzeit keine ähnlichen Vorgänge am Meeresgrunde nachgewiesen werden können. Als Kuriosum mag hier nur gezeigt werden, welche Zeiträume zur Bildung der archäischen Ablagerungen nach dieser Hypothese notwendig wären. Nach der Annahme des Autors, welcher diese Auffassung vertritt, soll ein Silikat von der Zusammensetzung des Gneißes in etwa 50,000 Teilen Wasser löslich sein; da wir nun die mittlere Tiefe des Meeres annähernd zu 3500 m annehmen dürfen, so könnte das Meer genug Silikat gelöst enthalten, um bei seiner vollständigen Verdampfung eine 7 cm mächtige Gneißschicht zu liefern. Nehmen wir an, daß alle Flüsse, Ströme &c. gesättigte Silikatlösungen dem Meere zuführen, so würde zur Abscheidung der 7 cm mächtigen Gneißlage so viel Zeit erforderlich sein, als notwendig ist, um die ganze Wassermasse des Meeres durch die Flüsse zu erneuern, ein Zeitraum, der annähernd zu 15,000 Jahren angeschlagen werden kann. Schätzen wir ferner die Mächtigkeit der archäischen Schiefer im Durchschnitte auf 15,000 m, so erhalten wir die Zahl der für die Bildung der archäischen Schiefer erforderlichen Jahre $= \frac{15{,}000 \cdot 15{,}000}{0{,}07}$ oder 3210 Millionen Jahre, eine Summe, die selbst den extremsten Anhängern einer sehr hohen Taxierung der geologischen Perioden etwas übertrieben erscheinen dürfte. Da aber die Flüsse nicht gesättigte Silikatlösungen ins Meer bringen, so müßte die angegebene Ziffer noch sehr vermehrt werden.

durch Erstarrung geschmolzener Massen anzunehmen. Wirklich kommen stellenweise aus Feldspat, Quarz und Glimmer bestehende Gesteine vor, welche nach ihrem Auftreten in Gängen und sonstigen Verhältnissen für eruptiv gehalten werden müssen, dabei aber Parallelstruktur zeigen. Diese Vorkommnisse müssen in mineralogisch strenger Auffassung des Wortes als Gneiße bezeichnet werden; ihre schichtenförmige Absonderung findet ihr Analogon in der plattigen mancher vulkanischer Gesteine, gewisser Phonolithe, Trachyte ꝛc. Aber solche beschränkte Bildungen haben doch in geologischer Hinsicht mit den großartigen Schichtensystemen der archäischen Ablagerungen wenig gemein.

Aber auch für alle andern alten Gneiße und folgerichtig auch für alle Gesteine der archäischen Schichtreihe überhaupt wurde und wird noch vielfach angenommen, daß sie unmittelbar aus geschmolzenen Massen auskristallisiert seien, und daß sie die erste Erstarrungsrinde der Erde darstellen, welche sich bildete, als die allmähliche Abkühlung unsers Planeten begann. In der That liegt es nahe, Gesteinsarten, welche in sehr verschiedenen Gegenden bei sehr ähnlicher Entwickelung immer wieder als tiefste Bildungen uns entgegentreten, in dieser Weise zu deuten, doch liegt darin noch kein Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung; wenn man auch die kristallinischen Schiefer als Ablagerungen aus dem Meere auffaßt, so ist damit der ehemalige glutflüssige Zustand der Erde durchaus nicht geleugnet, die erste Erstarrungsrinde liegt dann nur in großer Tiefe unsern Augen entzogen.

Die wesentlichsten Schwierigkeiten, welche der Deutung der kristallinischen Schiefer als Erstarrungsprodukte entgegenstehen, sind das Auftreten allgemein verbreiteter Schichtung und das Vorkommen von Marmor, kohligen Substanzen und Geröllen in denselben. Schon frühzeitig wurde darauf hingewiesen, daß das Vorhandensein einer ausgezeichneten Schichtung die kristallinischen Schiefer den echten Sedimenten nähere und für deren marinen Ursprung spreche. Dem wurde allerdings entgegengehalten, daß auch einzelne eruptive Gesteine, z. B. Trachyte und Phonolithe, manchmal eine der Schichtung ähnliche Absonderung in Platten, ja sogar schieferige Parallelstruktur zeigen; doch ist gegen diese Vorkommnisse darin ein wesentlicher Unterschied gegeben, daß die kristallinischen Schiefer nicht nur in seltenen Ausnahmen, sondern immer geschichtet sind, und daß der Wechsel so verschiedener Gesteinsarten wie Gneiß, Marmor ꝛc. an die Schichtung gebunden erscheint. Dies stellt eine totale Abweichung gegen die plattig abgesonderten Eruptivgesteine dar, und wir dürfen daher noch immer das Vorhandensein einer echten Schichtung als Beweis für sedimentäre Bildung, mithin gegen die Deutung als Erstarrungsprodukte betrachten. Das Vorkommen von Lagern körnigen Kalkes zwischen Gneißen und Glimmerschiefern bildet einen noch entschiedenern Beweis: in geschmolzenem Silikate kann kohlensaurer Kalk als solcher nicht existieren, er müßte mit demselben in chemische Verbindung treten. Wenn es auch gelungen ist, dichten Kalk durch Glühen bei Luftabschluß in Marmor zu verwandeln, so beweist dies gar nichts für den vorliegenden Fall, da durch die Anwesenheit von Silikaten bei den Vorgängen in der Natur eine vollständige Verschiedenheit der Bedingungen gegenüber den Versuchen von Hutton, G. Rose und andern hervorgebracht ist. Ähnlich verhält es sich mit dem Anthracit und dem Bitumen, welche ebenfalls unmöglich als Produkte der Schmelzung betrachtet werden dürfen. Endlich können vollständig gerundete Gerölle, wie sie unzweifelhaft in alten kristallinischen Schiefern vorkommen, nicht ohne die Thätigkeit des Wassers entstanden gedacht werden, welches durch Herumrollen die Form dieser Trümmer hervorgebracht haben muß.

Die angeführten Gründe machen die Annahme unmöglich, daß die archäischen Schiefergesteine ein unmittelbares Produkt der Erstarrung geschmolzener Massen seien; sie weisen im Gegenteile auf das Wasser, auf das Meer als ihren Bildner hin. Da wir nun gesehen haben, daß an eine Auskristallisierung aus einem Meere von der Beschaffenheit, wie sie jetzt

dem Ozeane eigen ist, nicht wohl gedacht werden kann, so ist die Annahme einer unmittelbaren Bildung der Gneiße und ihrer Verwandten auf dem angegebenen Wege nur unter Zuhilfenahme von wesentlich von den jetzigen abweichenden Verhältnissen möglich.

Die im vorigen Kapitel erwähnten Versuche von Daubrée über die Wirkung von überhitztem Wasser haben gezeigt, daß dieses die Fähigkeit hat, Silikate verhältnismäßig leicht aufzulösen, und daß viele von den Mineralien der kristallinischen Schiefer aus demselben sich ausscheiden können. Es war sehr natürlich, daß diese überraschende Entdeckung sofort zur Erklärung der so rätselhaften archäischen Bildungen benutzt wurde. Die leitende Annahme ist die, daß, während die Erde in geschmolzenem Zustande sich befand, alle Kohlensäure, welch letztere jetzt in Kalken und Dolomiten gebunden ist, und alles Wasser der Erde in Gasform als Atmosphäre den glühenden Ball umgaben; dazu gesellte sich noch eine weitere sehr bedeutende Menge von Kohlensäure, welche dem in Steinkohlen und in den Organismen vorhandenen Kohlenstoffe entspricht. Nach den großen Mengen dieser Substanzen dürfte man für jene Zeit nach sehr approximativen Schätzungen auf einen Luftdruck von 700 bis 800 Atmosphären rechnen. Der Siedepunkt des Wassers und ebenso die Temperatur, bei welcher Wasserdampf sich verdichtet, ist insofern wesentlich von dem Atmosphärendrucke abhängig, als mit der Steigerung des Druckes auch die Verdichtung des Wassers bei immer höherer Temperatur vor sich geht. Bei der angenommenen ursprünglichen Pression von etwa 800 Atmosphären würde sich stark überhitztes Wasser niedergeschlagen und, wie in Daubrées Versuchsröhren, auf die ursprüngliche Erstarrungsrinde eingewirkt und die Bildung kristallinischer Schiefer verursacht haben. Diese Annahme stützt sich jedoch auf unerwiesene Voraussetzungen: da, wie früher erwähnt, die geschmolzenen Gesteine in hohem Grade die Fähigkeit besitzen, Gase zu absorbieren, so ist die Hypothese, daß alle Gase, welche diese riesige Atmosphäre gebildet haben sollen, ursprünglich vom glühenden Magma des geschmolzenen Erdballes absorbiert waren, jedenfalls wahrscheinlicher als die entgegengesetzte Ansicht, und mithin fehlt dem eben genannten Erklärungsversuche für die Bildung der kristallinischen Schiefer die sichere Basis; trotzdem dürfen wir denselben keineswegs als unmöglich bezeichnen, da ja auch das Fehlen der dichten Atmosphäre nicht sicher bewiesen ist.

Die Wirkung des überhitzten Wassers wird nun in verschiedener Weise thätig gedacht: von manchen Geologen wird angenommen, daß dasselbe ursprünglich bei der herrschenden außerordentlich hohen Temperatur große Mengen von Silikaten löste, die dann bei der fortschreitenden Abkühlung auskristallisierten. So bestechend jedoch diese Ansicht ist, so haltlos ist sie. Es ist bekannt, daß die Zusammensetzung des Meerwassers sich im offenen Ozeane über die ganze Erde gleichbleibt; kleine Abweichungen finden in der unmittelbaren Nähe von Flußmündungen statt, doch gleichen sich dieselben schon in ziemlich geringer Entfernung wieder aus; außerdem zeigen fast geschlossene Binnenbecken mit starker Verdunstung einen etwas erhöhten Salzgehalt. Diese gleichmäßige Zusammensetzung ist natürlich kein Zufall, sondern die Folge von Vorgängen, die sich nach unabänderlichen physikalischen Gesetzen vollziehen: die Diffusion, unterstützt durch Strömungen und Winde, bringt heute diese Wirkung hervor und mußte sie zu allen Zeiten hervorbringen, solange es überhaupt Meere gibt. Wenn diese also mit irgend einer mineralischen Substanz übersättigt waren, so mußte sich dieselbe überall gleichmäßig ausscheiden; eins der häufigsten Vorkommnisse im Gebiete der kristallinischen Schiefer, die lokalen, aber oft ziemlich mächtigen Linsen von kristallinischem Kalke, überhaupt jedes chemisch eigenartige Gestein, ist für diese Ansicht unerklärlich. Ein derartiges Gebilde ist nur unter außergewöhnlichen Verhältnissen denkbar, wie sie etwa der Karabugasbusen im Kaspischen Meere für die Abscheidung von Chlornatrium darstellt, wie sie aber für alle die erwähnten Vorkommnisse der archäischen Zeit unmöglich angenommen werden können.

Einen zweiten für die Theorie unmittelbarer Auskristallisierung unerklärlichen Fall bietet die Wechsellagerung von Gneiß, Glimmerschiefer, Phyllit oder was immer für einem Schiefergesteine mit Kalklagern. Um eine Änderung eines aus Lösung auskristallisierenden Sedimentes hervorzubringen, ist eine Änderung der Zusammensetzung des ganzen Erdozeanes notwendig: sein Wasser müßte aufhören, mit Silikaten übersättigt zu sein, statt dessen müßte ein Überschuß von Kalkkarbonat vorhanden sein, und derselbe Vorgang müßte in umgekehrter Ordnung sich wiederholen, wenn über dem Kalke Schiefer folgen; eine dritte radikale Änderung müßte die Rückkehr der kalkigen Sedimente begleiten und immer wieder erfolgen, so oft beiderlei Sedimente im Verlaufe der archäischen Zeit wechseln. Eine jede solche Schwankung im Gehalte des Wassers an gelösten Substanzen müßte aber ihrerseits wieder dadurch bedingt sein, daß dem Meere andre gelöste Substanzen zugeführt werden als vorher; auch das wäre wieder ein Fall, für dessen mehrfaches abwechselndes Auftreten wir uns keinen Grund denken können.

Wahrscheinlicher ist jedenfalls die Annahme der sogenannten Diagenese, nach welcher zwar die archäischen Gesteine unmittelbar bei ihrer Ablagerung die kristallinische Struktur erhielten, aber nicht durch direkte chemische Ausscheidung aus Lösung, sondern durch Einwirkung überhitzten oder heißen Wassers auf mechanisch sich ablagernde Sedimente. Welcher Art das mechanisch abgelagerte Sediment war, dessen diagenetischer Umkristallisierung die archäischen Schiefergesteine ihre Entstehung verdanken, ist eine schwer zu beantwortende Frage. Dana stellte zuerst die Vermutung auf, daß loses vulkanisches Material die Hauptrolle gespielt habe, und daß daher die Gneiße, Glimmerschiefer &c. modifizierte vulkanische Tuffe jener alten Zeit seien. Er hat bis in die neueste Zeit manche Nachfolger in dieser Anschauung gehabt, und es muß entschieden anerkannt werden, daß sich ein sehr wichtiges Argument für Danas Ansicht anführen läßt; in sehr vielen Fällen läßt sich nämlich konstatieren, daß kristallinische Schiefer mineralogisch ebenso zusammengesetzt sind wie die mit ihnen zusammen vorkommenden, vermutlich eruptiven Massengesteine. Andre Geologen halten es für wahrscheinlicher, daß gewöhnliches Gesteinszerreibsel, wie es von den Flüssen ins Meer geführt wird, daß Thon, Sand &c. das Material zur Schieferbildung geliefert haben; auch hier soll nach der gewöhnlichen Annahme überhitztes Wasser eine Hauptrolle gespielt haben. Da jedoch, wie wir oben gesehen haben, in der archäischen Zeit Organismen schon existiert haben, deren Vorhandensein auch von den meisten Diagenetikern angenommen wird, so kann die Temperatur des Wassers nicht mehr als 100° C. betragen haben; es war also keinenfalls überhitzt, und dafür, daß auch einfach erwärmtes Wasser in verhältnismäßig sehr kurzer Zeit eine kristallinische Ausbildung klastischer Elemente habe hervorrufen können, fehlt der experimentale Nachweis.

Wir haben ferner oben gesehen, daß auch in der paläozoischen und mesozoischen Zeit kristallinisch entwickelte Sedimente vorkommen, welche von archäischen nicht unterschieden werden können. Da natürlich zur Zeit ihrer Bildung das Meerwasser nicht mehr heiß war, so kann die Thätigkeit heißen Wassers während der Ablagerung keineswegs als eine notwendige Bedingung für die Entstehung solcher Felsarten betrachtet werden, und man wird daher auch die Frage aufwerfen müssen, ob denn unter diesen Verhältnissen eine Nötigung vorliegt, diesen Faktor für die archäische Zeit in Anspruch zu nehmen. Das Gewicht dieses Einwurfes hat man durch die Annahme zu mindern versucht, daß lokale und sporadische Einlagerungen von kristallinischen Silikatgesteinen zwischen versteinerungsführenden klastischen Sedimenten das Resultat der Einwirkung von Mineralquellen auf frische, noch schlammige Absätze seien. Allein ganz abgesehen davon, daß eine Mineralquelle nicht eine Schicht verändern, die andre unberührt lassen kann, handelt es sich hier um Gesteinskomplexe, deren Ausdehnung nach Quadratmeilen und deren Mächtigkeit nach Tausenden von Fußen zählt;

einem so riesigen Maßstabe gegenüber ist die Wirkung einer oder einiger Mineralquellen so geringfügig, daß man wohl nicht auf dieser Deutung wird bestehen können.

Im Gegensatze zu den bisher besprochenen Ansichten ist schon früh die Idee hervorgetreten, daß die kristallinischen Schiefer nicht eine ursprüngliche Bildung, sondern das Produkt einer spätern Umwandlung der bereits fest gewordenen Felsarten durch irgend welche Agenzien seien. Dieser Vorgang, welcher sich von der Diagenese vor allem durch das nachträgliche Eintreten der Kristallisation unterscheidet, wurde „Metamorphismus" genannt[1], und man ging schließlich so weit, jede nicht gleich erklärbare Erscheinung der Mineralbildung sofort auf seine Rechnung zu setzen.

Der erste Begründer der Lehre vom Metamorphismus war der geniale schottische Geolog Hutton, und seit seiner Zeit haben sich derselben viele der ausgezeichnetsten Repräsentanten der Wissenschaft zugewandt. In Deutschland wirkten namentlich Leopold von Buch und Boué für ihre Verbreitung und suchte Bischoff ihr eine neue Richtung zu geben; neben ihnen haben sich noch viele andre diesen Anschauungen angeschlossen, und auch in andern Ländern hat die Lehre von nachträglicher Kristallisierung der Schiefer eine Menge der bedeutendsten Vertreter gefunden. Es ist begreiflich, daß bei einer Frage, welche der Phantasie so weiten Spielraum läßt, sehr verschiedene Modifikationen der einen Grundanschauung sich eingestellt haben. Wir können unmöglich diese zahllosen und zum Teile etwas gewagten Varianten hier anführen, sondern müssen uns darauf beschränken, einige der wichtigsten zu skizzieren und einer Kritik zu unterziehen.

In erster Linie nahm man die Einwirkung von Druck und Wärme als Ursache der Veränderung an, wofür namentlich das Auftreten der sogenannten Kontaktmetamorphosen Anhaltspunkte liefert. Man kennt Fälle, in welchen wenig kristallinische Schiefergesteine da, wo sie mit Massengesteinen und namentlich mit Granit in Berührung kommen, rings um diesen auf eine ziemliche Erstreckung kristallinisch werden. Zahlreiche solche Fälle aus dem Harze, aus Sachsen, den Vogesen, aus England, den Pyrenäen, Korsika, dem Kaplande ꝛc. sind eingehend beobachtet und beschrieben worden. Die Einwirkung von Druck und Wärme bei Gegenwart von Wasser hat in allen diesen Fällen eine Umlagerung der Teilchen veranlaßt, ohne daß in der Regel eine chemische Veränderung damit verbunden gewesen wäre. Begreiflicherweise wurden auf derartige Beobachtungen weitere Schlüsse gegründet, doch muß man dabei im Auge behalten, daß die Übereinstimmung mit dem gewöhnlichen Vorkommen keine vollständige ist. Die mineralogische Entwickelung dieser Kontaktgesteine ist eine sehr eigentümliche, und eine Verwandtschaft mit der Gneißbildung, wie man sie früher allgemein annahm, ist durchaus nicht vorhanden, da Feldspat nicht oder nur ausnahmsweise in geringen Spuren auftritt. Jedenfalls ist es aber sicher, daß das Zusammenwirken von Druck und heißem Wasser in den angegebenen Fällen kristallinische Struktur hervorgebracht hat. Man verallgemeinerte dieses Resultat dahin, daß überhaupt alle kristallinischen Schiefer ihre Struktur diesen Faktoren verdanken. Hutton nahm an, daß alle Gesteine, die sich im Meere gebildet haben, auch Sandsteine und dichte Kalke, nur durch die Wirkung der innern Erdwärme, durch „plutonische" Thätigkeit, fest werden können; er sah auch in den kristallinischen Schiefern ursprünglich normale Sedimente, welche durch die Glut der Tiefe ihre jetzige Ausbildung erhalten haben. Bald überzeugte man sich jedoch,

[1] Man bezeichnet deshalb oft die kristallinischen Schiefer schlechtweg als metamorphische Schiefer, jedoch sehr mit Unrecht. Mag die Berechtigung der metamorphischen Hypothesen sein, welche sie wolle, jedenfalls sind sie vorläufig noch nicht erwiesen. Es ist aber ganz unzulässig, eine Bezeichnung nach einer leicht erkennbaren physikalischen Eigenschaft (kristallinische Schiefer) durch eine andre, welche von einem noch nicht erwiesenen genetischen Vorgange hergeleitet ist, zu verdrängen.

daß Hitze allein nicht ausreichend sei, um alle diese Veränderungen zu erklären, und nahm außer ihr die Einwirkung von heißen Dämpfen oder von Wasser und Minerallösungen zu Hilfe, wie das z. B. in der von Boué angebahnten, von Lyell begründeten und von Babbage weiter ausgebildeten Auffassung der Fall ist.

Wie wir früher gesehen haben, findet von der Erdoberfläche gegen die Tiefe zu eine stetige Temperaturzunahme statt und zwar für je 30 m etwa um 1° C. Man begegnet einem solchen Resultate, wenn man z. B. in einem massigen oder in einem aus Wasser geschichteten Gesteine ein Bohrloch in die Tiefe treibt, und es geht daraus hervor, daß abgelagerte Sedimente von untenher durchwärmt werden. Wenn nun außerordentlich mächtige Massen von Ablagerungen sich bilden, so werden die tiefsten Teile derselben allmählich einer ziemlich hohen Temperatur ausgesetzt werden. Ist die Dicke eines horizontal gelagerten Schichtensystemes 12,000 m, so wird an der Basis desselben eine Temperatur von 400° herrschen, die in Verbindung mit dem Drucke der auflastenden höhern Horizonte und mit Wasser, das ja jedes Gestein durchdringt, aller Wahrscheinlichkeit nach eine Umkristallisierung bewirken wird. Zweifellos treten archäische Ablagerungen in der genannten Mächtigkeit konkordant zu einander gelagert auf, so daß thatsächlich in den tiefern Teilen solcher Komplexe überhitztes Wasser thätig gewesen sein muß; ebenso sicher ist eine ähnliche Wirkung in vielen Fällen durch die Bedeckung mit sehr mächtigen jüngern Bildungen vorgekommen. Nach allen Erfahrungen, die man über die Wirkung überhitzten Wassers gemacht hat, müssen wir auch annehmen, daß unter solchen Verhältnissen die Bildung kristallinischer Elemente vor sich gehen könne, daß also vielleicht auch kristallinische Schiefer aus normalen Elementen auf diesem Wege entstehen können und wirklich entstanden sind. Trotz dieses Zugeständnisses ergibt aber eine eingehendere Prüfung, daß dieser Prozeß unzureichend ist, um die Bildung aller kristallinischen Schiefer zu erklären; so hoch man auch die Macht der Erosion anschlagen mag, so kann man doch nicht annehmen, daß alle archäischen Distrikte in einer frühern Zeit durch meilendicke Sedimentmasse bedeckt gewesen seien, die später in manchen bis auf die letzte Spur zerstört wurde. Insbesondere ist für die kristallinischen Schiefergesteine jüngerer Formationen eine solche Erklärung unanwendbar, so daß wir jedenfalls nach andern Ursachen suchen müssen, welche denselben Erfolg hervorbringen konnten.

Im Gegensatze zu diesen Anschauungen, welche hohe Temperatur und Druck in erster Linie als unerläßliche Bedingungen für die Bildung kristallinischer Schiefer betrachten, hat G. Bischoff lediglich in der Wirkung des in den Gesteinen zirkulierenden Wassers bei gewöhnlicher Temperatur und ohne hohen Druck die Ursache dieses Vorganges gesucht. Er nahm an, daß das sickernde Wasser auf seinem Wege durch die Sedimentmassen Bestandteile gelöst mitbringe und gegen andre austausche, so daß auf diese Weise eine Umwandlung mit Substanzänderung eintreten würde. Auch nach seiner Ansicht bilden Thonschiefer, Sandsteine und ähnliche Bildungen das Material, aus welchem die Gneiße und Glimmerschiefer sich entwickeln; manche unter seinen sehr zahlreichen Anhängern und Nachfolgern nahmen sogar eine Umwandlung von Kalk in Gneiß oder ein verwandtes Gestein an. Vom chemischen Standpunkte aus muß die Möglichkeit solcher Vorgänge unbedingt zugegeben werden; da Kristalle von allen die Schiefer zusammensetzenden Mineralien in der Natur unter Verhältnissen vorkommen, welche beweisen, daß sie bei gewöhnlicher Temperatur aus Wasser gebildet sind, so können auch z. B. aus Thonen sich alle Mineralien des Gneißes entwickeln. Für diese Umwandlungen, namentlich für diejenige des Kalkes in ein aus Feldspat, Quarz, Glimmer 2c. bestehendes Gestein, sprechen namentlich die sogenannten Pseudomorphosen oder Afterkristalle, wie man veränderte Vorkommnisse kristallisierter Mineralien nennt, die zwar ihre äußere Form beibehalten, aber infolge eines chemischen Vorganges einen Teil ihrer Bestandteile oder auch deren Gesamtheit verloren und andre dafür aufgenommen

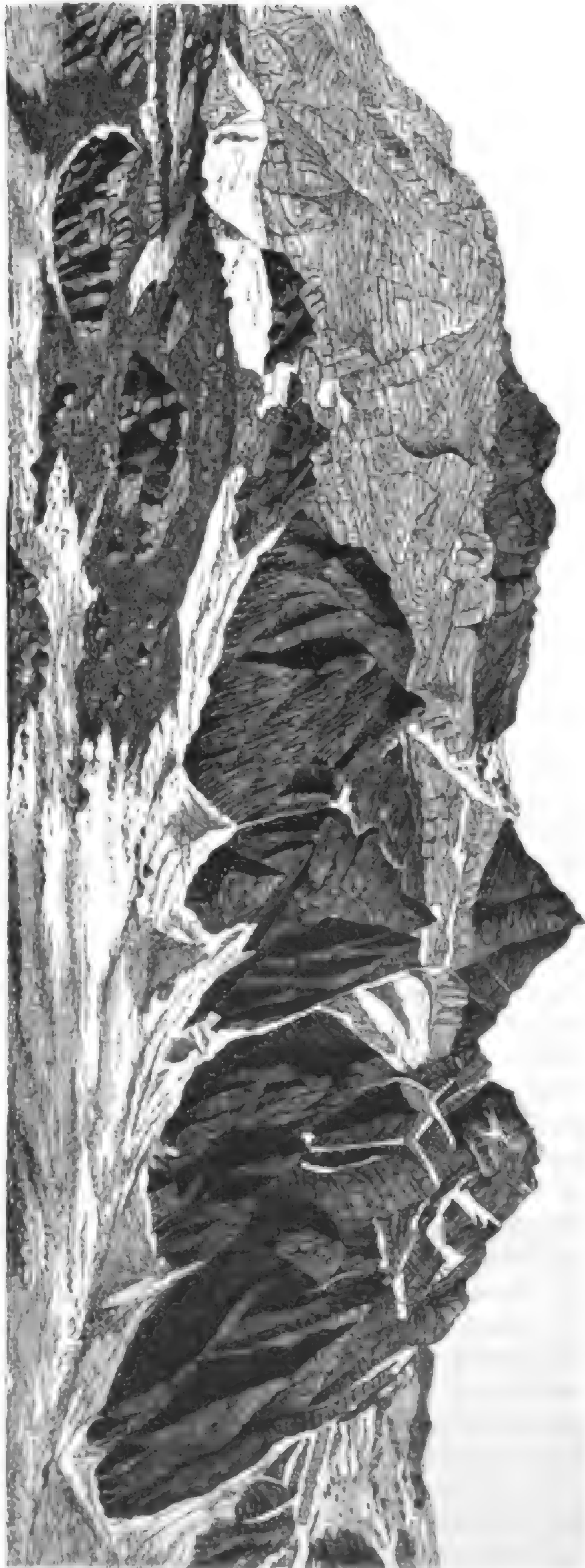
haben. So kann z. B. kristallisiertes Schwefeleisen (Schwefelkies) seinen Schwefel verlieren, dafür Sauerstoff und Wasser aufnehmen und sich dadurch in Brauneisenstein (Eisenoxydhydrat) umwandeln, ohne daß dabei die Kristallform des Schwefeleisens verloren ginge. Man hat auch Pseudomorphosen gefunden, welche ganz die Kristallform des Kalkspates zeigen, von der Zusammensetzung desselben aber nichts mehr enthalten; der kohlensaure Kalk ist ganz durch einen Feldspat, den Orthoklas, verdrängt worden, welcher aus Kieselsäure, Thonerde und Kali besteht. Man bezeichnet ein solches Vorkommen, welches die Form des Kalkspates, die Zusammensetzung des Orthoklases hat, als eine „Pseudomorphose von Orthoklas nach Kalk". In derselben Weise kennt man Pseudomorphosen von Quarz nach Kalkspat und kann demnach nicht in Abrede stellen, daß die für die Zusammensetzung der kristallinischen Schiefer wichtigsten Mineralien durch einfache Wirkung des Wassers bei Zufuhr der notwendigen Bestandteile sich sogar aus Kalk entwickeln können.

Ob aber solche mögliche Vorgänge sich in der Natur wirklich in so gewaltigem Maße abgespielt haben, daß ihnen die Bildung der ungeheuern Massen der archäischen Schichtsysteme zugeschrieben werden kann, darüber müssen andre Erwägungen entscheiden, und hier treffen die besprochenen Hypothesen auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Wenn das Wasser ohne Beihilfe von Druck und Wärme diese Wirkung hervorbrachte, wie können dann Thone der kambrischen Formation vorkommen, die in vielen Millionen Jahren nicht die geringste Änderung erlitten haben? Vor allem ist es ein Einwurf, welcher eine solche Annahme vollständig widerlegt: in den Systemen der kristallinischen Schiefer sind chemisch verschieden zusammengesetzte Materialien streng nach Schichten voneinander gesondert. Wären bedeutende Substanzänderungen während der Ausbildung zu kristallinischen Schiefern eingetreten, so müßten dieselben ganz unabhängig von den Schichtflächen sein, und man würde namentlich längs senkrechter Klüfte, auf denen das Wasser zirkuliert, die stärksten Umänderungen zu beobachten haben. Davon ist aber nichts zu bemerken; eine Schicht Glimmerschiefer liegt z. B. scharf abgegrenzt auf eine weite Strecke einer Kalkschicht aufgelagert, ohne daß ein Umtausch von Bestandteilen bemerkbar wäre.

Mit solchen Verhältnissen ist die Hypothese von einer wässerigen Umkristallisierung der Schiefergesteine mit Substanzveränderung unvereinbar. Eine Zufuhr neuer, eine Wegführung ursprünglich vorhandener Bestandteile ist jedoch keineswegs notwendig mit der Metamorphose verbunden; diese kann vielmehr ohne Gewinn oder Verlust an Substanz lediglich durch Umkristallisierung stattfinden. Sobald wir uns auf diesen Boden stellen, fallen die schwerwiegenden Gründe weg, welche oben angeführt wurden, ein regelmäßiger Wechsel des Gesteines nach Schichten ist mit dieser Hypothese in vollem Einklange. Als die wirkende Kraft wird dabei der hohe Druck gedacht, welchen die Gesteine bei der Gebirgsbildung zu erleiden hatten, eine Annahme, welche noch wahrscheinlicher geworden ist, seitdem W. Spring durch seine interessanten Experimente den eminenten Einfluß einfachen Druckes auf die Erzeugung kristallinischer Struktur gezeigt hat.

Zuerst war es Lossen, welcher in dieser Beziehung neue Gesichtspunkte aufstellte, die vermutlich große Bedeutung gewinnen werden. Bei der Untersuchung der oben erwähnten kristallinischen Schiefer der devonischen Formation im Taunus machte er die Beobachtung, daß dieselben besonders da ausgezeichnet entwickelt sind, wo die Lagerung eine stark gestörte ist, wo also mechanische Druckkräfte besonders intensiv auf sie einwirkten, daß dagegen da, wo dies weniger der Fall war, der klastische Charakter vorwiegt. Es konnte ferner nachgewiesen werden, daß in Spalten, deren Entstehung erst mit der Aufrichtung der Schichten Hand in Hand ging, ganz dieselben Mineralausscheidungen stattfinden wie innerhalb einzelner den Schichtflächen paralleler Lagen. Diese Mineralausscheidungen stehen mit der Bildung der kristallinischen Struktur überhaupt in innigem Zusammenhange, und es folgt

daraus, daß diese letztere ebenfalls erst gleichzeitig mit der Aufrichtung der Schichten und durch die Wirkung des dabei stattfindenden Druckes entstanden ist. Lossen kommt zu dem Resultate, „daß die kristallinischen Schiefer des Taunus infolge der gebirgsbildenden Ursache auf wässerigem Wege umkristallisierte Sedimente darstellen“, und schreibt die Hauptwirkung dem Drucke sowie der durch ihn erzeugten Wärme zu, eine Erklärung, die auch auf andre analoge Gesteine ausgedehnt wird. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Baltzer und Heim beim Studium gewisser Marmorvorkommnisse im Berner Oberlande. Es war seit langem bekannt, daß die dichten „Hochgebirgskalke“ des obern Jura dort stellenweise kristallinisch werden; namentlich an einigen Punkten, wo sie mit Gneiß zusammenstoßen, ist dies der Fall. Es wurde früher angenommen, daß hier eine Art von Kontaktmetamorphose vorliege; allein es hat sich gezeigt, daß diese Erscheinung auch fern vom Gneiße auftritt, an Punkten, an welchen der Kalk sehr starken Biegungen und Störungen ausgesetzt war, und daß anderseits auch an der Gneißgrenze die Marmorisierung des Kalkes nur da stattfindet, wo das Aneinanderstoßen beider Gesteine von außerordentlich intensiven Faltungen begleitet ist. Dort finden sich sehr komplizierte Lagerungs-Verhältnisse, derart, daß Gneiß und Kalk fingerförmig ineinander eingreifen und sogenannte Keile bilden, wie sie die nebenstehende Abbildung darstellt; diese Erscheinung, von welcher schon ausführlich die Rede war, stellt einen sehr verwickelten Fall der Gebirgsfaltung dar, und



Kalkkeil im Gneiße der Jungfrau, vom Rotthale aus gesehen (nach Baltzer). Der Kalk ist hell, der Gneiß dunkel gehalten.

gerade da, wo diese ihr Maximum erreicht, in der Spitze der Keile, ist der Kalk besonders kristallinisch entwickelt. Diese Beobachtung führte auch hier zu dem Schlusse, daß der Druck, welcher bei der Gebirgsbildung und der Faltung auf das Gesteinsmaterial einwirkte, die kristallinische Ausbildung desselben bewirkte. In ähnlicher Weise sind in Griechenland die Kreidegesteine speziell in denjenigen Gebirgsteilen kristallinisch ausgebildet, in welchen sehr verwickelte Störungen der Lagerung vorkommen; dasselbe wurde auch anderwärts beobachtet, und man kann sagen, daß kristallinische Schiefer in ungestörter Lagerung überhaupt nicht vorkommen: eine für das Verständnis dieser Gesteine überaus wichtige Thatsache.

Die einzelnen Beispiele, welche soeben angeführt wurden, beziehen sich alle auf verhältnismäßig jüngere Vorkommnisse, deren Betrachtung für Erklärungsversuche einen entschiedenen Vorteil hat. Jede Erklärung muß von den einfachsten, nächstliegenden Verhältnissen ausgehen und sich erst von diesen aus an die extremen, fern liegenden Fälle wagen; aber diese Regel ist bei der Aufstellung von Theorien über die Bildung der kristallinischen Schiefer meistens außer acht gelassen worden, von den großen archäischen Gneiß- und Glimmerschieferdistrikten der Alten und Neuen Welt, in denen das Rätsel in seiner schwierigsten Gestalt erscheint, haben die meisten Hypothesen ihren Ursprung genommen, statt von den Punkten, an welchen wir die ersten Andeutungen einer Umbildung wahrnehmen.

Das Wesen der Metamorphose der Schiefergesteine, wenn von einer solchen überhaupt die Rede sein soll, kann nur darin bestehen, daß das früher amorphe sedimentäre Material kristallinische Struktur annimmt. Als echt kristallinisch werden solche Schiefer bezeichnet, in welchen das ganze Gesteinsmaterial aus kristallinischen Elementen besteht und klastische Bestandteile selbst unter dem Mikroskope nicht mehr nachgewiesen werden können. Solche Vorkommnisse dagegen, in welchen neben vorwiegenden kristallinischen Elementen bei starker Vergrößerung einzelne amorphe Partien bemerkbar sind, oder in welchen beiderlei Bestandteile sich das Gleichgewicht halten, werden als halbkristallinische bezeichnet, während Gesteine, in denen das amorphe Material überwiegt, trotz der Anwesenheit von Hornblendesäulchen, Glimmerblättchen und Quarzkörnchen mit Flüssigkeitseinschlüssen klastisch genannt werden.

Der Unterschied zwischen den Phylliten oder kristallinischen Thonschiefern einerseits und den klastischen Thonschiefern anderseits ist also nur in dem Mengenverhältnisse der Bestandteile gelegen, nur ein quantitativer und kein wesentlicher qualitativer Unterschied trennt beide Gesteine. Dasselbe Verhältnis herrscht aber zwischen den klastischen Thonschiefern und den Schieferthonen jüngerer Formationen, in welchen R. Credner zuerst das Vorhandensein kristallinischer Elemente nachgewiesen hat; selbst in den plastischen Thonen sind solche, wenn auch meist in sehr geringer Menge, zu finden. Von den weichen Thonen bis zum Gneiße haben wir es mit einem und demselben Vorgange in stärkerm oder schwächerm Grade zu thun. Die ersten Anfänge dieser Erscheinung muß ein Erklärungsversuch ins Auge fassen, wenn er überhaupt rationell und methodisch verfahren soll.

Die Entscheidung der ganzen Frage liegt also nicht in den Gneißen und Glimmerschiefern der großen archäischen Distrikte, sondern in den Thonen und Schieferthonen der jungen Formationen. Daß die Kriställchen der Schieferthone und Thone unmittelbare chemische Niederschläge aus dem Wasser des Meeres seien, kann nach dem, was früher über diesen Gegenstand gesagt wurde, nicht angenommen werden; es kann sich nur darum handeln, ob sie sich aus dem schlammigen Sedimentmateriale unmittelbar bei der Ablagerung (Diagenese) oder in späterer Zeit (Metamorphose) ausgeschieden haben. Für die erste Anschauung wurde angeführt, daß alle Kristallnädelchen den Schieferungs- und Schichtflächen parallel liegen; aber diese Erscheinung liefert keineswegs einen Beweis. Es ist eine durch Experimente

verschiedener Forscher nachgewiesene Thatsache, daß plastische Substanzen, einem einseitigen Drucke unterworfen, ausgezeichnete Schieferstruktur annehmen. Sind flache, lamellenförmige Körper in die Masse regellos eingeknetet, so lagern sie sich alle senkrecht zur Richtung des Druckes, sie fördern dadurch die Schieferbildung, ohne daß jedoch deren Anwesenheit eine wesentliche Bedingung für die Entstehung der Parallelstruktur wäre. Betrachten wir nun eine Schichtfolge, welche aus einem Wechsel von plastischem und nicht plastischem Materiale, also etwa aus thonigen Gesteinen einerseits, aus Kalken anderseits, besteht, so finden wir, daß in der Regel die erstern geschiefert sind, die letztern nicht, vorausgesetzt, daß über den betreffenden Gesteinen noch eine genügende Menge von Schichtmaterial abgelagert worden ist, um durch ihren Druck die Schieferung der Thone zu bewirken. Wo diese Bedingung nicht erfüllt ist, besitzen auch die Thone keine Schieferung; wir finden diese daher in jungen Bildungen sehr häufig ungeschiefert.

Eine interessante Bestätigung dieser Auffassung gibt die Erhaltung der Versteinerungen in den Schiefern; sehr dichte und harte Fossilreste, wie Belemnitenrostra, starke Knochen großer Wirbeltiere ꝛc., sind gut erhalten, zartere Reste, dünnere Molluskengehäuse, kleine Seeigel ꝛc., sind flach gedrückt wie ein Blatt Papier. Eine Ausnahme davon tritt jedoch da ein, wo die Fossilien, wie das häufig geschieht, in Schwefelkies verwandelt (verkiest) sind. Durch diese Veränderung haben auch dünne Schalen solche Konsistenz erhalten, daß sie nicht zerquetscht werden konnten; wir nennen als Beispiel die Fossilien der devonischen Wissenbacher Schiefer. Besonders auffallende Beispiele kommen aber in manchen geschieferten Thonen des Jura, z. B. in den Ornatenthonen Württembergs, vor, wo man oft findet, daß von einer Ammonitenschale ein Teil verkiest ist, ein andrer nicht, und daß stets dieser Teil der Schale zerdrückt ist, der erstere nicht; es ist demnach hier die Einwirkung des Druckes und die dadurch hervorgebrachte Schieferung erst eingetreten, nachdem die Fossilien schon in Schwefelkies verwandelt waren.

Durch Druck entsteht also in einer spätern Periode lange nach Ablagerung die Parallelstruktur der thonigen Gesteine, und dieselbe Kraft, welche die Schieferung hervorbringt, wird auch schon fertige oder noch sich bildende Kristallnadeln oder Lamellen ebenfalls den Schichtflächen parallel orientieren, wie das aus den Beobachtungen von Sorby über die Struktur von Gesteinen mit falscher Schieferung hervorgeht, in denen die einzelnen Nädelchen nach den Schieferungsflächen angeordnet sind; es bildet also diese Lagerung der Kriställchen keinen Beweis für ihre diagenetische Bildung. Da die mikroskopische Untersuchung keinen unmittelbaren Aufschluß über die uns beschäftigende Frage gibt, so müssen wir in andern Beobachtungen die Lösung suchen. Der Hauptsache nach kann man sagen, daß geologisch junge Gesteine im Durchschnitte weniger kristallinische Elemente enthalten als die ältern, und daß mit dem Alter die Menge derselben zunimmt; diese Thatsache deutet der Diagenetiker dahin, daß in früherer Zeit die auflösende und umkristallisierende Gewalt des Wassers größer war als jetzt und von Beginn der archäischen Periode bis heute in steter Abnahme begriffen ist, während der Metamorphiker es von seinem Standpunkte ebenso natürlich findet, daß die Wirkungen der allmählichen, langsamen Veränderung sich um so mehr häufen und um so deutlicher hervortreten, je älter das Gestein ist.

Im erstern Falle, wenn die Kristallbildung als Wirkung der Diagenese aufgefaßt wird, kann die Menge der Kristalle nur mit dem Alter und dem ursprünglichen sedimentären Materiale im Zusammenhange stehen; dagegen ist jeder Einfluß der Lagerungsverhältnisse, unter denen sich das Gestein jetzt findet, ausgeschlossen. Wenn hingegen in einer spätern Metamorphosierung der Grund des Vorganges liegt und dem Drucke die wesentliche Wirkung bei dieser Umänderung zugeschrieben wird, so muß offenbar das Gegenteil eintreffen, und thonige Gesteine in stark gestörtem Gebirge müssen weit mehr kristallinische

Elemente zeigen als solche aus wenig dislozierten Ablagerungen gleichen Alters. Leider liegen noch viel zu wenige mikroskopische Untersuchungen für eine direkte Entscheidung über diesen Gegenstand vor, allein sie geben uns doch mittelbar Anhaltspunkte für eine Beurteilung an die Hand; so viel haben dieselben mit Sicherheit ergeben, daß mit den dem freien Auge sichtbaren Unterschieden zwischen Thon, Schieferthon und Thonschiefer die Differenzen in der feinern Struktur Hand in Hand gehen. Thon zeigt wenig, Schieferthon etwas mehr, Thonschiefer am meisten kristallinische Elemente, und der Reichtum der Thonschiefer an solchen gilt nicht nur für die geologisch alten, sondern auch für ganz junge Vorkommnisse, wie das besonders die Untersuchungen von Pfaff an den eocänen Thonschiefern von Glarus und diejenigen von Becke an cretaceischen Gesteinen der Karpaten und Griechenlands beweisen. Thone sind am verbreitetsten in jungen Formationen, aber weder schließen sie in denselben die Schieferthone und Thonschiefer aus, noch fehlen sie den ältern Perioden; in diesen treten sie in solchen Gegenden auf, in welchen der Schichtenbau nicht oder nur wenig gestört und in welchen überdies die Menge der überlagernden Sedimente keine sehr bedeutende ist. Beispiele hierfür sind nicht eben selten; weitaus das bekannteste und bezeichnendste unter ihnen bilden die so oft citierten kambrischen Thone, welche in der Umgebung von Petersburg das älteste Glied der paläozoischen Schichtreihe sind und in vollständig normaler, horizontaler Lage sich befinden. Anderseits enthalten selbst die jungen Ablagerungen der Tertiärzeit plastische Thone nur da, wo sie keinen starken Faltungen ausgesetzt gewesen sind; wo sie solche erlitten haben, erscheinen an Stelle der Thone stets Schieferthone, ja sogar Thonschiefer. Diese letztern kommen in gestörtem Gebirge in allen Formationen bis hinauf zum mittlern Tertiär vor, wenn sie auch in den ältern Ablagerungen am häufigsten sind.

Plastische Thone von kambrischem, Thonschiefer von tertiärem Alter treten auf, und das Vorkommen dieser verschiedenen Gesteinsmodifikationen zeigt sich von den tektonischen Verhältnissen wesentlich beeinflußt. Die Entwickelung von Thonschiefern, also auch ihrer kristallinischen Mineralelemente, steht demnach in ursachlichem Zusammenhange mit den mechanischen Vorgängen der Gebirgsbildung oder mit der Masse der überlagernden Sedimente. Wir werden also auch die größere Häufigkeit von Thonschiefern in den alten, von Schieferthonen in den mittlern, von Thonen in den neuern Formationen nicht einer allmählichen Abnahme der diagenetischen Kraft des Meerwassers zuschreiben können, sondern darin sehen müssen, daß ein Gestein im Durchschnitte um so mehr von überlagerndem Sedimente belastet, von tektonischen Störungen betroffen, um so stärker überhaupt verändernden Einflüssen ausgesetzt war, je älter es ist; wir kommen also zu dem Resultate, daß die Art und Weise des Auftretens kristallinischer Mineralgemengteile in den Sedimenten gegen eine unmittelbare Bildung spricht und entschieden auf das Stattfinden einer Metamorphose hinweist.

Berücksichtigen wir nun vollends das Auftreten vollkristallinischer Schiefer in mesozoischen und paläozoischen Ablagerungen, so können wir alle diese Erscheinungen nur durch nachträgliche Umkristallisierung, durch Metamorphose ohne Veränderung der chemischen Gesamtzusammensetzung des Gesteines, erklären. Bei der Ableitung dieser Schlüsse bildeten die geologisch jüngern Vorkommnisse den Ausgangspunkt, allein es kann keinem Zweifel unterliegen, daß wir dieselbe Art der Bildung für die große Mehrzahl der gleichgearteten archäischen Schiefer voraussetzen müssen; für die Annahme, daß auch diese ihre Entstehung wesentlich einer Umkristallisierung unter der Wirkung mächtigen Druckes verdanken, spricht schon mit überwältigender Bestimmtheit die eine außerordentlich wichtige, aber viel zu wenig beachtete Thatsache, daß es auf der ganzen Erde kein Vorkommen kristallinischer Schiefer in ungestörter Lagerung gibt.

Eine vollständige Erklärung dieses Vorganges ist jedoch nach dem heutigen Stande unsrer Kenntnisse noch nicht möglich. Wir haben gesehen, daß Druck, sei es infolge der

Vorgänge der Gebirgsbildung, sei es durch die Schwere überlagernden Gesteinsmateriales, mit der Umwandlung von Thon in Schieferthon und Thonschiefer Hand in Hand zu gehen pflegt, und es ist ferner in mehreren Fällen festgestellt, daß beim Entstehen junger, vollständig kristallinischer Schiefer der Druck eine wesentliche Rolle spielt. Es kann daher kaum bezweifelt werden, daß diesem eine direkte oder indirekte Wirkung zugeschrieben werden müsse. Unmittelbar kann die Entstehung schieferigen Parallelgefüges auf den Druck zurückgeführt werden, dagegen ist es noch zweifelhaft, in welcher Weise derselbe auf die Umkristallisierung zu wirken im stande ist. Lossen hat auf die durch Druck erzeugte Wärme als einen wesentlichen Faktor hingewiesen; anderseits ist es für viele Substanzen experimentell festgestellt, daß sie bei stärkerer Pression sich leichter in Wasser lösen. Von großer Bedeutung sind in dieser Beziehung die Versuche von W. Spring, wonach sehr verschiedene Körper in Form eines amorphen Pulvers, einem sehr starken Drucke unterworfen, zu einer festen, durch und durch kristallinischen Masse erhärten. Immerhin ist für jetzt noch nicht genügendes Beobachtungsmaterial vorhanden, um über die Berechtigung dieser Ideen zu entscheiden; wir müssen dies künftigen eingehenden Untersuchungen überlassen und uns damit begnügen, auf die Existenz eines ursachlichen Zusammenhanges zwischen Druck und kristallinisch-schieferiger Entwickelung der Sedimente hinzuweisen.

Wir haben gesehen, daß von den verschiedenen Einwürfen, welche gegen die Annahme des Metamorphismus erhoben worden sind, die meisten sich auf jene Hypothesen beziehen, welche eine mehr oder weniger weit gehende chemische Veränderung der Sedimente, die Zufuhr neuer, die Wegführung früherer Bestandteile voraussetzen; dieselben verlieren jedoch ihre Bedeutung, sobald eine einfache Umkristallisierung angenommen wird. Nur ein einziger dieser Einwände behält sein Gewicht auch der hier vertretenen Auffassung gegenüber: es ist dies das Vorkommen von nicht veränderten, echt klastischen Sedimenten, welche von jüngern kristallinischen Bildungen überlagert werden, sowie die Wechsellagerung klastischer und kristallinischer Schiefer. Solche Gebilde sind allerdings nicht häufig; immerhin kann das wenn auch seltene Vorkommen solcher Erscheinungen nicht in Abrede gestellt werden. Eine Erklärung hierfür zu geben, sind wir vor allem deswegen nicht im stande, weil zu einer solchen eine sehr genaue Kenntnis der einzelnen Fälle nötig wäre, die nicht vorliegt; anderseits haben wir sehr geringe Erfahrungen darüber, welches Sedimentmaterial leicht, welches schwer eine Veränderung erleidet, obwohl solche Verschiedenheiten jedenfalls existieren und ein Haufwerk grober Gerölle z. B. sich anders verhalten wird als feiner Thonschlamm. Nehmen wir aber auch an, daß genauere Studien in dieser Richtung noch keine Aufklärung brächten, bliebe doch diese große Schwierigkeit auch für jede andre Hypothese gleich rätselhaft; es würde darum keiner der andern Erklärungsversuche, für deren jeden die Erscheinung vorläufig gleich unverständlich ist, auch nur um ein Haar breit wahrscheinlicher werden.

Bei der Verallgemeinerung der hier erhaltenen Resultate, die wesentlich von den jüngern Vorkommnissen ausgehen, müssen wir berücksichtigen, daß die Übertragung auf die ältern kristallinischen Schiefer auf einem Analogieschlusse beruht, der natürlich an Beweiskraft verliert, je weiter wir uns von dem Ausgangspunkte entfernen, und je ältern archäischen Bildungen wir uns zuwenden. Wenn wir z. B. die ältesten bunten Gneißbildungen des Bayrischen Waldes ins Auge fassen, so kann für diese die Mitwirkung andrer Faktoren als bei der Bildung der jüngern Schiefergesteine nicht mit voller Sicherheit in Abrede gestellt werden; immerhin aber ist die Annahme am wahrscheinlichsten, daß auch hier klastisches Sedimentmaterial, vielleicht auch lose vulkanische Produkte einer spätern Umkristallisierung und paralleler Anordnung der einzelnen Elemente (Schieferung) infolge bedeutenden mechanischen Druckes ausgesetzt worden seien.

Eine lange und eingehende Betrachtung schwieriger und verwickelter Verhältnisse, die Prüfung sehr verschiedener Hypothesen war notwendig, um eine wahrscheinliche Ansicht über die Bildung der kristallinischen Schiefer zu gewinnen und ihre Berechtigung zu beweisen. Die Aufschlüsse, welche wir dadurch erhalten, ermöglichen eine wenigstens annähernde Vorstellung über den Zustand der Erde in jenen fernen Urzeiten, welche dem Auftreten der ersten uns genau bekannten Tier- und Pflanzenformen vorausgehen. Wir sehen, daß die ältesten Gesteine, welche uns an der Oberfläche der Erde begegnen, geschichtet und Absätze aus dem Meere sind; neben ihnen treten allerdings auch sehr alte Massengesteine auf, doch ist keins derselben vorhanden, von dem man auch nur mit einiger Wahrscheinlichkeit voraussetzen könnte, daß es der ersten Erstarrungsrinde der Erde angehöre. Diese ist wohl überall unter einer dichten Hülle sedimentärer und eruptiver Bildungen der archäischen Periode verborgen.

Die Zeit, welche die Ablagerung der archäischen Schichten in Anspruch genommen hat, muß eine ungeheuer lange gewesen sein. Die Mächtigkeit derselben wird in der Regel als geringer angegeben wie die aller folgenden fossilführenden Formationen zusammen, wir müssen jedoch berücksichtigen, daß wir die Basis der archäischen Schichtfolge nicht kennen, und daß diese unter den ältesten beobachteten Gneißen sich jedenfalls noch in die Tiefe fortsetzt; ja, wenn wir bedenken, daß die Entwickelung der archäischen Bildungen eine so gewaltige ist, daß nirgends ältere Gesteine unter denselben zum Vorscheine kommen, so werden wir annehmen müssen, daß ihre Mächtigkeit in Wirklichkeit die der jüngern Sedimente bedeutend übersteigt. Die archäische Periode repräsentiert demnach wahrscheinlich einen längern Zeitraum als den, welcher vom Beginne der kambrischen Formation bis heute verflossen ist. In dieser ganzen Zeit haben Tiere und Pflanzen von uns unbekannter Beschaffenheit gelebt; Kontinente müssen existiert haben, welche das Material für die Schichtbildung lieferten; Küsten, an denen die Brandung nagte, waren vorhanden. In derselben Weise wie später waren gebirgsbildende Kräfte thätig, Faltung und Aufrichtung von Schichten erfolgten, die Gebirge wurden durch Erosion wieder abgetragen und das Material aufs neue über den Resten zerstörter Schichtfalten archäischer Sedimente abgelagert, wie das die vielen gewaltigen Diskordanzen beweisen. Hand in Hand mit den tektonischen Vorgängen ging auch schon die Umkristallisierung der Sedimente zu Gneißen, Glimmerschiefern, Phylliten vor sich, so daß diese schon als Gerölle in den jüngern archäischen Ablagerungen vorkommen[1].

So eröffnet sich uns eine Aussicht in unabsehbare Fernen der Vorzeit, in denen der Blick sich allmählich verliert. Nicht eine scharfe Grenze scheidet für unser Erkennen die Periode der Organismen von einer Urzeit, in welcher unsrer Vorstellung schwer faßbare Vorgänge sich abspielten, sondern soweit wir vorzudringen vermögen in das Verständnis jener entlegenen Zeiten, werden wir auf Zustände geführt, die den jetzigen ähnlich sind. Eine erste Erstarrungskruste muß existieren, das Produkt einer Zeit, in welcher die Glut der Erdrinde kein Leben duldete; aber die Gesteine dieser Epoche sind unsrer Beobachtung nicht zugänglich.

[1] Das Auftreten von Gneißgeröllen in jüngern archäischen oder kambrischen Bildungen ist nicht auffallender als das Vorkommen von Bruchstücken cretaceischer Phyllite in den jungtertiären Bildungen bei Athen.

Register.

Die Personennamen der Reisenden und Forscher sind am Schlusse des Verzeichnisses alphabetisch aufgeführt.

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.
(Holzfreies Papier.)

29. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 1). Preis: 1 Mark

Allgemeine Naturkunde.

In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 1—3; Aquarelltafeln „Meteoriten", „Die Marshemisphären".

Notiz für unsre Subskribenten.

Behufs eines soliden und geschmackvollen Einbandes der **Allgemeinen Naturkunde** haben wir aus bestem braunen Saffianleder

Einband-Decken

mit reichverzierten Ledereсken

herstellen lassen, welche wir den Subskribenten zu dem billigen Preis **von M. 1,80 pro Band** liefern.

Die auf der vierten Seite dieses Umschlags abgedruckte

Anweisung für den Buchbinder

empfehlen wir ganz besonderer Beachtung.

Leipzig, 1886.

Die Verlagshandlung.

Bestellzettel.

Unterzeichneter bestellt hiermit bei der Buchhandlung von

....

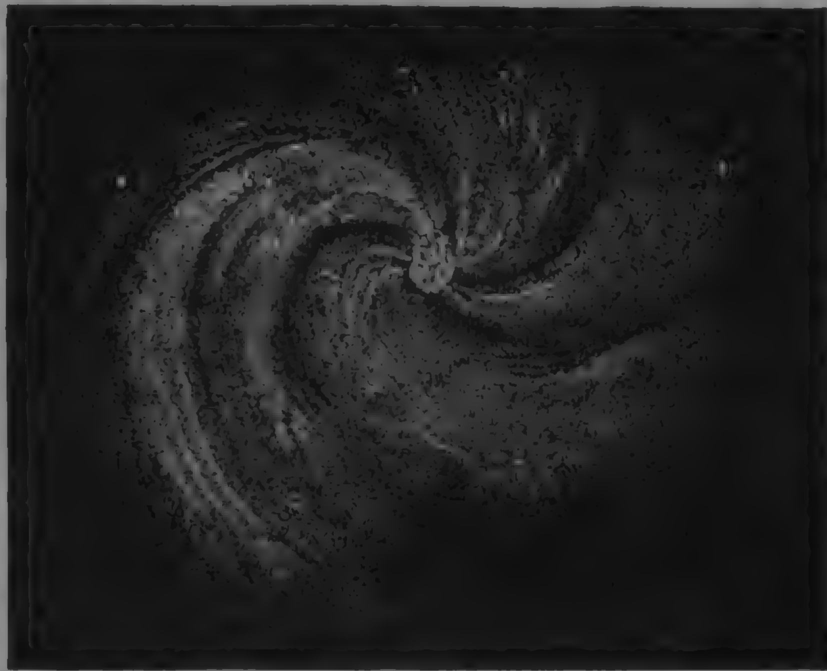
die vom **Bibliographischen Institut** in Leipzig angebotenen

Original-Einband-Decken

zur **„Allgemeinen Naturkunde“**, Band   und folgende, braun **halbfranz** à Mk. 1,80.

Adresse: ....

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.

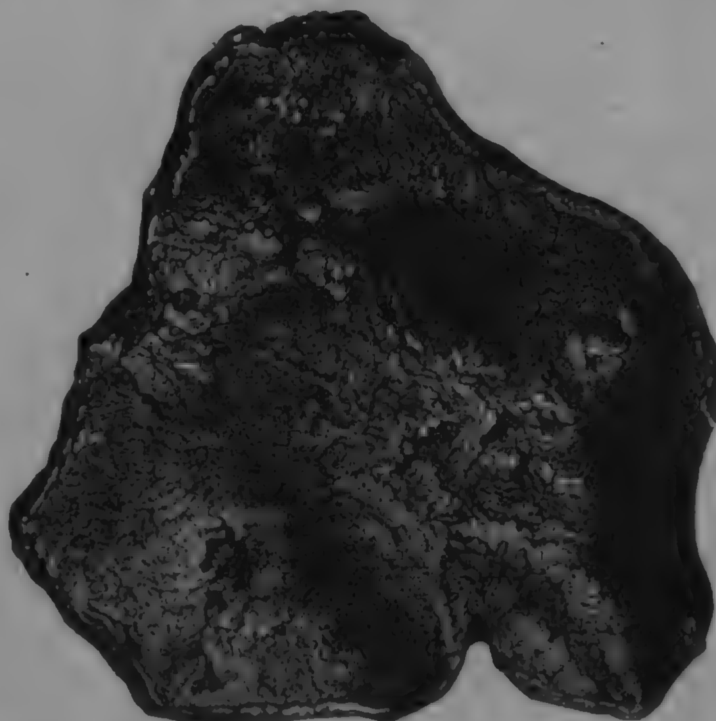
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 4–6; Aquarelltafel „Der Grand Cañon des Rio Colorado".

(Siehe die dritte und vierte Umschlagseite.)

31. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 3). Preis: 1 Mark

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

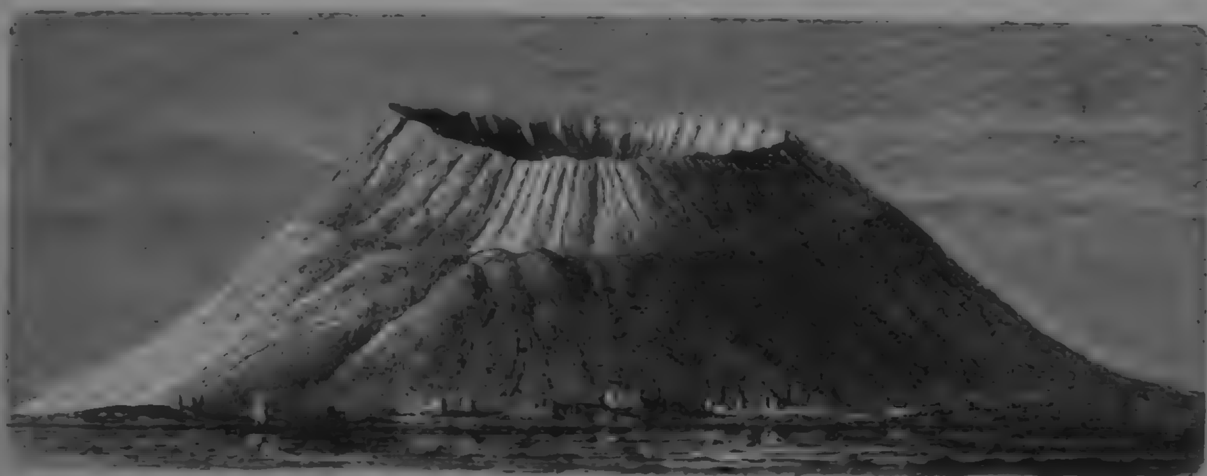
von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 7—9; Aquarelltafel „Das Gletscherthor am Rhônegletscher".

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

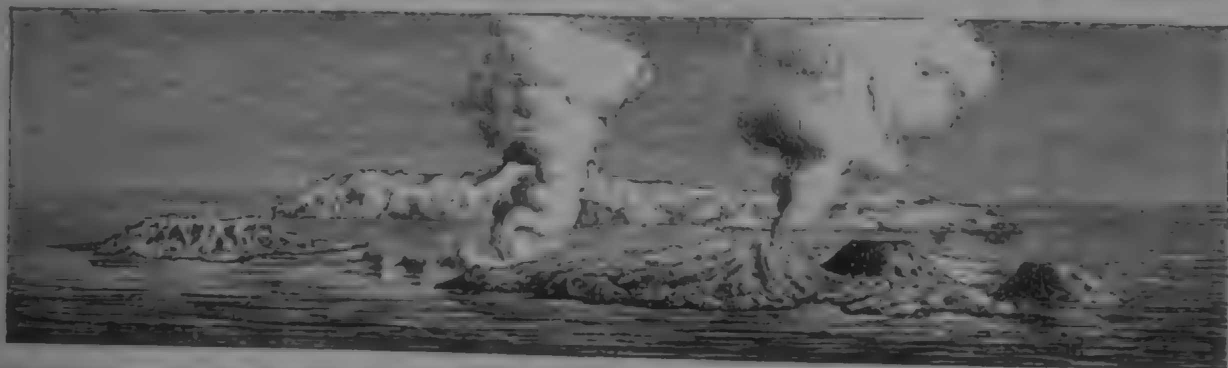
Professor Dr. Melchior Neumayr.

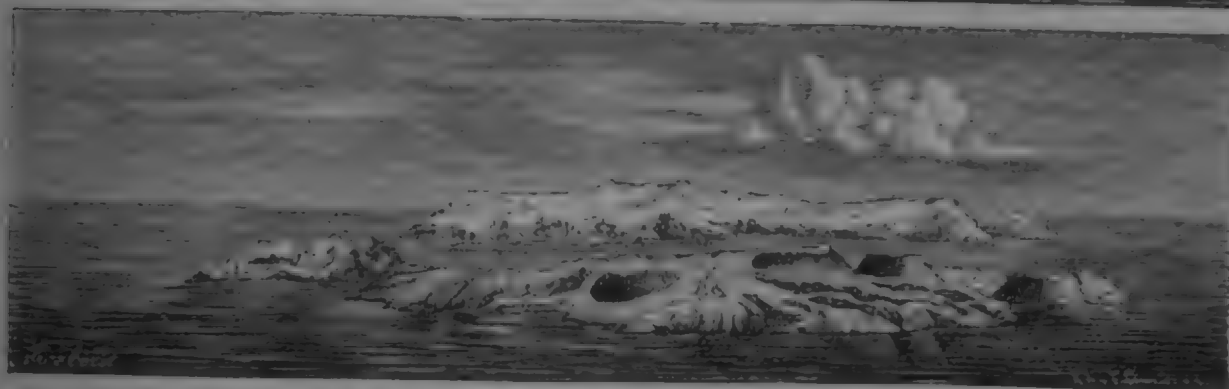
Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

(Siehe die dritte und vierte Umschlagseite.)

June 18, 1886.

Allgemeine Naturkunde.





In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.

Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 13–15; Aquarelltafel „Tierleben auf einem Korallenriff“.

34. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 6). Preis: 1 Mar

Allgemeine

Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit über 3000 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

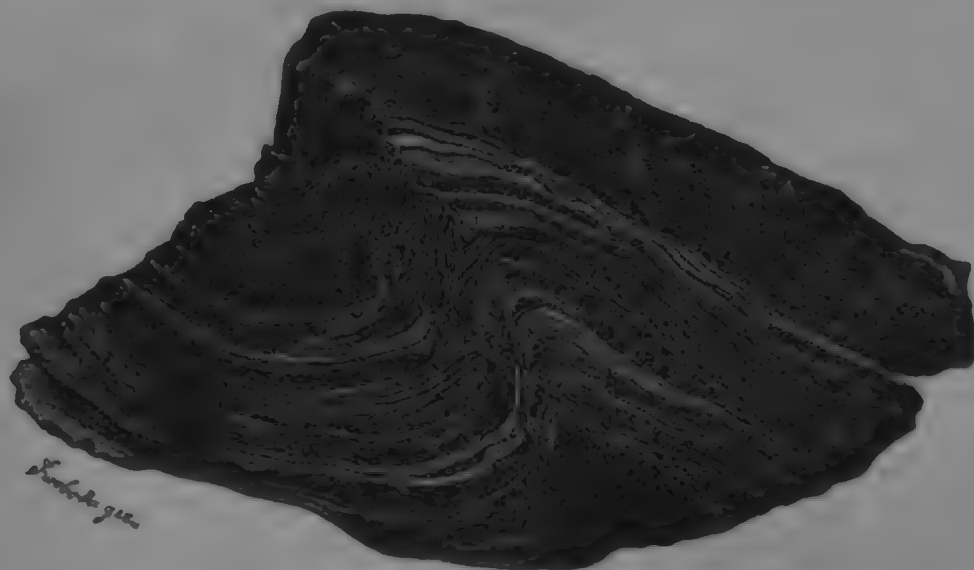
Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 16—18; Aquarelltafel „Mikroskopische Vergrößerung von Dünnschliffen" (mit Textblat

35. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 7). Preis: 1 Mark.

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

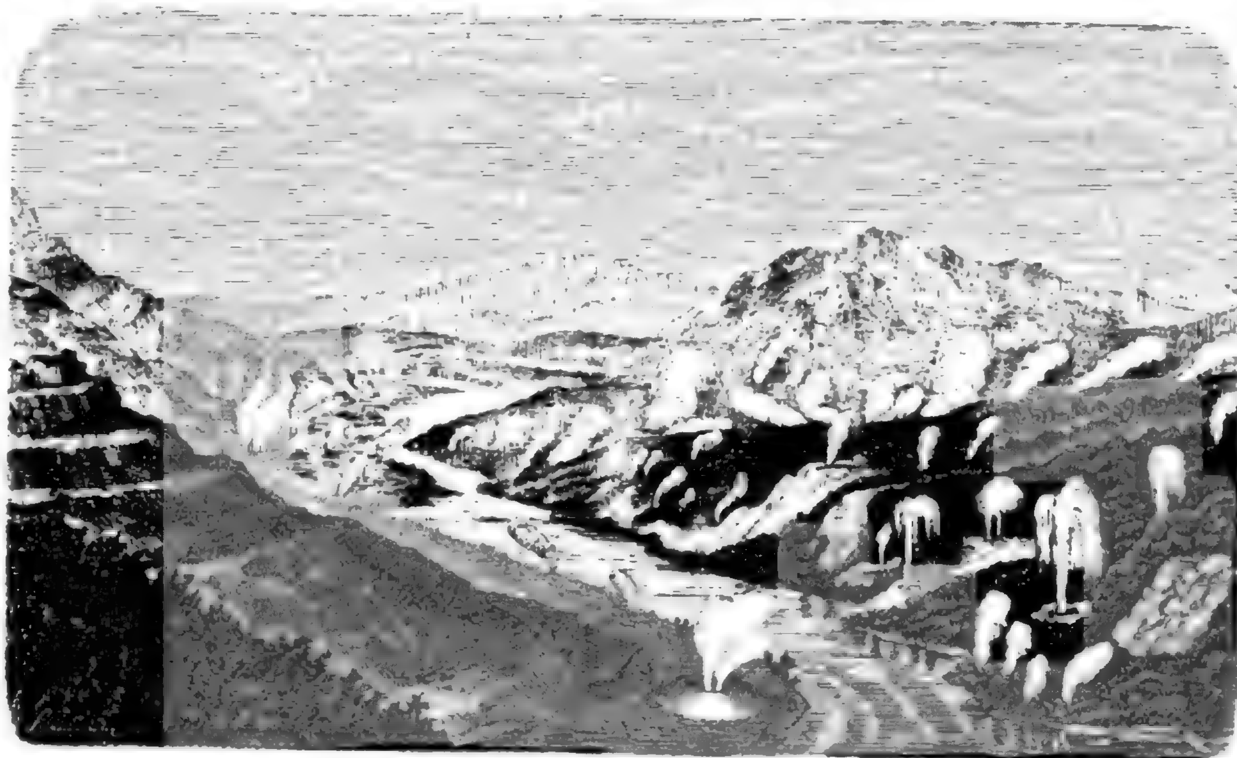
Leipzig 1886.

Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 19—20; Aquarelltafeln „Spektralanalyse", „Sonnenprotuberanzen".

36. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 8). Preis: 1 Mark.

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

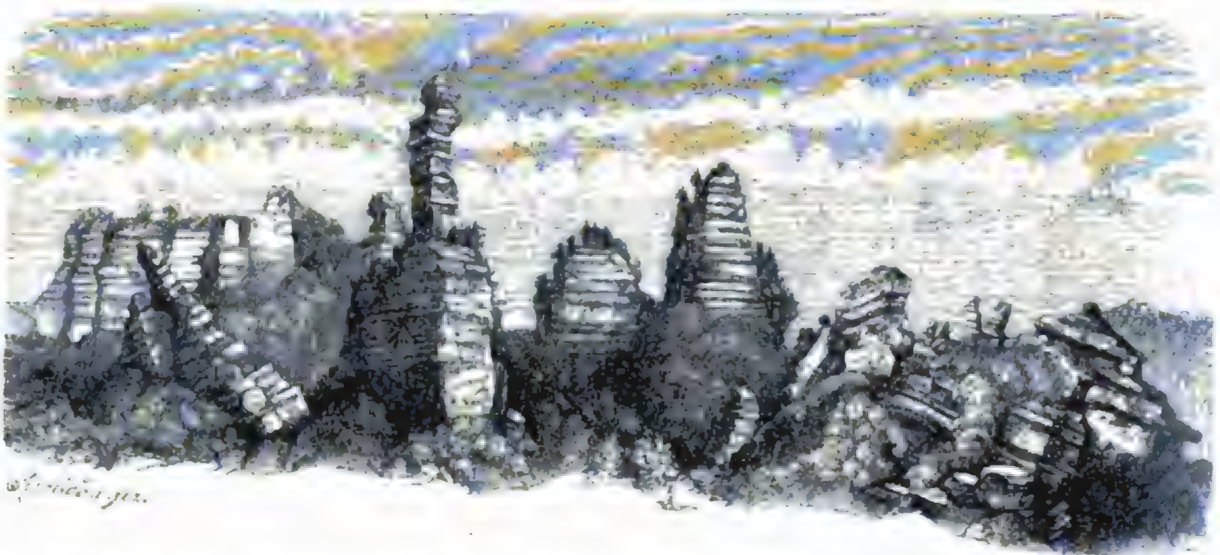
Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 21—23; Karte „Verteilung der Vulkane auf der Erde".

37. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 9). Preis: 1 Mark

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 24—26; Aquarelltafel „Profile aus den Alpen und dem Schweizer Jura".

40. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 12). Preis: 1 Mark.

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. **über 120 Aquarelltafeln.**

Erdgeschichte

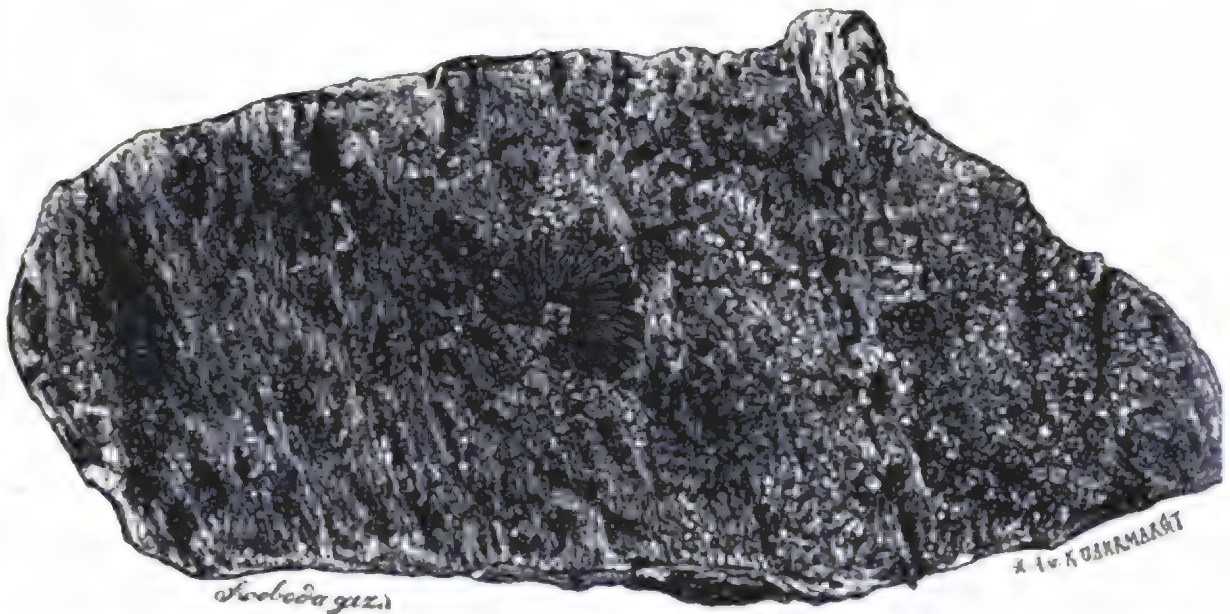
von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.

Verlag des Bibliographischen Instituts.

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.
Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 36—38; Aquarelltafel „Die Nilkatarakte bei Assuan".

42. Lieferung (Erdgeschichte I, Heft 14). Preis: 1 Mark.

Allgemeine Naturkunde.



In 130 Liefer. oder 9 Bänden, mit circa 3500 Textillustr., 20 Karten u. über 120 Aquarelltafeln.

Erdgeschichte

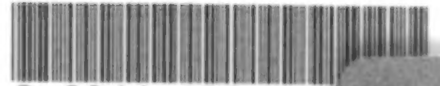
von

Professor Dr. Melchior Neumayr.

Leipzig 1886.

Verlag des Bibliographischen Instituts.

Inhalt: Textbogen 39, 40, 41 (7/8), I (7/8); Karte: „Vergletscherung des Tegernseegebietes während der Eiszeit"; Aquarelltafel „Marian-See im Humboldtgebirge (Nordamerika)".


3 2044 106 207



